Consommation efficace de l'énergie dans les bâtiments d'élevage agricole

Agriculture Canada

Publication 1799/F



Canada

Consommation efficace de l'énergie dans les bâtiments d'élevage agricole

Ralph G. Winfield[1]
Marcel Lévesque, conseiller scientifique

Institut de recherches techniques et de statistiques
Ottawa (Ontario)

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada

---

[1] Ralph G. Winfield et Assoc., Glanworth, Ont.

FACTEURS DE CONVERSION

Unité métrique	Facteur approximatif de conversion	Donne
LINÉAIRE		
millimètre (mm)	x 0,04	pouce
centimètre (cm)	x 0,39	pouce
mètre (m)	x 3,28	pied
kilomètre (km)	x 0,62	mille
SUPERFICIE		
centimètre carré (cm^2)	x 0,15	pouce carré
mètre carré (m^2)	x 1,2	verge carrée
kilomètre carré (km^2)	x 0,39	mille carré
hectare (ha)	x 2,5	acre
VOLUME		
centimètre cube (cm^3)	x 0,06	pouce cube
mètre cube (m^3)	x 35,31	pied cube
	x 1,31	verge cube
CAPACITÉ		
litre (L)	x 0,035	pied cube
hectolitre (hL)	x 22	gallons
	x 2,5	boisseaux
POIDS		
gramme (g)	x 0,04	once
kilogramme (kg)	x 2,2	livre
tonne (t)	x 1,1	tonne courte
AGRICOLE		
litres à l'hectare	x 0,089	gallons à l'acre
	x 0,357	pintes à l'acre
	x 0,71	chopines à l'acre
millilitres à l'hectare	x 0,014	onces liquides à l'acre
tonnes à l'hectare	x 0,45	tonnes à l'acre
kilogrammes à l'hectare	x 0,89	livres à l'acre
grammes à l'hectare	x 0,014	onces à l'acre
plants à l'hectare	x 0,405	plants à l'acre

PUBLICATION 1799/F, on peut obtenir des exemplaires à la Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7

N° de cat. A15-1799/1986F ISBN: 0-662-93256-0
Impression 1986 4M-2:86

Also available in English under the title
Good energy management in farm livestock buildings.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE

Nous espérons que cette publication vous sera de quelque utilité. Que vous soyez en train d'ériger un bâtiment ou de chercher des moyens d'économiser de l'énergie, vous pourrez épargner de l'argent si vous portez attention aux détails de la construction, au choix de l'équipement et aux conseils sur les méthodes d'utilisation de l'énergie.

Nous voudrions remercier en particulier Marcel Lévesque, qui a été notre conseiller scientifique, et John Turnbull, tous deux de l'Institut de recherches techniques et de statistiques, de la Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, pour leurs précieuses critiques constructives et leur aide au cours de la conception et de la rédaction de cet ouvrage.

Nous remercions également les représentants de presque toutes les provinces qui ont bien voulu nous donner des suggestions pertinentes afin d'améliorer le premier jet de cette publication. Nous avons tenu compte de la plupart d'entre elles.

Ralph G. Winfield, P. Eng.

INTRODUCTION

L'utilisation de l'énergie, et plus particulièrement son coût, sont une question très importante pour les producteurs de viande, de lait et d'œufs partout au Canada. La facture mensuelle ou trimestrielle de consommation d'énergie semble souvent excessivement élevée et, de fait, dans certains cas, cette facture est plus élevée qu'elle le devrait. Cette publication vise à attirer l'attention sur les mauvaises utilisations de l'énergie et, espérons-le, à fournir des techniques ou à faire des recommandations dans le but d'en réduire la consommation grâce à une meilleure utilisation des sources d'énergie classiques comme l'électricité, le pétrole, le GPL*, ou le gaz naturel. Ces mesures consistent notamment à améliorer la conception ou la gestion des systèmes, ou tout simplement à changer les systèmes, ou à utiliser l'énergie qu'on laissait autrefois se perdre parce qu'elle ne coûtait pas cher.

Les tableaux de dépannage qui apparaissent à la fin de cette publication devraient présenter un intérêt particulier. Si l'air est de mauvaise qualité ou le coût du chauffage élevé, déceler les causes et trouver les solutions possibles seront vraisemblablement la première étape à suivre pour utiliser efficacement les informations détaillées contenues dans cet ouvrage.

Nous présentons également de nouvelles techniques, comme le préchauffage solaire de l'air de ventilation, qui est maintenant devenu rentable ou le sera bientôt étant donné que le coût des énergies classiques continue d'augmenter. La recherche et les essais sur le terrain continuent; c'est pourquoi la bibliographie sera incomplète lors de la publication de ce rapport. Les références, y compris les plans du Service des plans du Canada (SPC), ainsi que la documentation et les rapports d'essais plus récents devraient se trouver dans tous les bureaux provinciaux de vulgarisation agricole.

UTILISATION DE L'ÉNERGIE

L'électricité est la forme d'énergie utilisée dans presque tous les bâtiments qui abritent des animaux et de la volaille en raison de sa souplesse d'utilisation. Elle sert pour l'éclairage, la réfrigération des produits, le traitement des aliments, la manutention, la ventilation artificielle et elle peut également être utilisée pour chauffer l'air ambiant et l'eau. Le pétrole, le GPL et le gaz naturel sont également utilisés, mais principalement pour le chauffage. Exceptionnellement, on se sert d'un moteur à combustion interne, principalement celui du tracteur de ferme, pour le traitement des aliments sur place.

La consommation d'énergie pour l'éclairage est généralement réduite au minimum étant donné que l'on utilise les fenêtres le plus possible, comme dans les étables laitières à stabulation entravée. Des minuteries et des gradateurs sont pratiques dans les porcheries et les poulaillers de ponte, où la photopériode est très importante, et les gains peuvent être régularisés en faisant varier la durée ou la fréquence de l'alimentation. Lorsqu'il est possible d'épargner de la nourriture, dont la production demande beaucoup d'énergie, le coût relatif de l'électricité nécessaire pour l'éclairage contrôlé est généralement très faible.

L'énergie nécessaire pour la préparation des aliments constitue une très faible partie du coût total de l'alimentation des animaux. Une étude externe faite par Weeden et Norrish (1980) sur les mélangeurs-broyeurs électriques a indiqué une consommation variant de 0,8 à 8,7 kilowatts-heure par tonne d'aliments (kWh/t). La majeure partie des aliments était traitée avec moins de 5 kWh/t, et au coût de 0,05 $/kWh, cela ne représente que 0,25 $ par tonne. Bien que certaines réductions soient possibles grâce au bon entretien du broyeur et à l'utilisation de grilles au maillage le plus gros possible, les économies potentielles d'énergie sont relativement faibles.

Nombreux sont ceux qui considèrent que l'équipement de manutention, comme les distributeurs à vis, les convoyeurs, les désileurs, les pompes, etc., est énergivore. Ce n'est pourtant pas le cas dans la plupart des exploitations agricoles canadiennes. Les moteurs relativement gros ne fonctionnent que pendant de courtes périodes, une à trois fois par jour. Ainsi, la demande d'électricité (en kilowatts) et le service rendu (intensité du courant) peuvent être importants, mais l'énergie consommée quotidiennement (kWh), très faible. La plupart des exploitations agricoles sont facturées seulement pour l'énergie (kWh) qu'elles consomment et non pour la demande (kW). Si cette dernière est facturée, la demande de pointe peut souvent être réduite en alternant le moment d'utilisation de la charge. Il faudrait ainsi terminer les opérations d'alimentation ou de récupération du fumier avant de mettre en marche l'équipement de traite ou vice versa, ce qui constitue une saine technique de gestion. Lorsque l'on considère qu'un désileur peut déplacer une tonne de fourrage en quelques minutes pour seulement quelques cents, il n'est vraiment pas pratique de grimper au haut du silo et de désiler à la fourche.

Le chauffage de l'air ambiant et de l'eau, la ventilation continuelle de l'air et le refroidissement du lait et des oeufs sont les opérations qui exigent le plus d'énergie. Un chauffe-eau d'une capacité de 270 L vidé et rempli deux fois par jour, 365 jours par année, pour stériliser l'équipement de traite peut consommer 19 194 kWh par année en supposant des frais fixes de 20 %; à 0,05 $ le kWh, cela représente 959,70 $. La chaleur récupérée du lait pourrait être utilisée pour remplacer une partie de cette énergie ou des mesures peuvent être prises pour réduire l'utilisation (le gaspillage) de l'eau chaude ou les frais fixes.

De même, un petit ventilateur de 0,2 kW fonctionnant continuellement consomme environ 2 628 kWh par année à un coût de 131,40 $, tandis qu'une chauffrette électrique de 5 kW consomme jusqu'à 120 kWh (pour un coût de 6,00 $) pendant une journée froide d'hiver, toujours en supposant que l'électricité coûte 0,05 $ le kilowatt heure.

* Gaz de pétrole liquéfié, communément appelé propane.

Le lait et les œufs doivent être réfrigérés à l'exploitation agricole pour en conserver la qualité. De nombreux jeunes animaux et volailles doivent être gardés dans un environnement contrôlé pour survivre au cours de nos hivers rigoureux avec un taux de croissance maximal et en consommant le moins d'aliments possible. Lorsque certains animaux ou volailles sont gardés dans un milieu plus froid que les conditions optimales, ils doivent consommer plus d'aliments pour atteindre leur poids du marché. Étant donné que le coût de l'alimentation représente environ 65 % du coût de production, les effets peuvent être financièrement désastreux pour le producteur. Pour illustrer le coût énergétique des aliments par rapport à celui du combustible, prenons par exemple une porcherie bien isolée contenant 1 000 porcs. Pour garder un taux de croissance de 0,8 kg/j (kilogrammes par jour), on a calculé que pour chaque degré Celsius au-dessous de la température optimale de 20 °C, les porcs mangent un excédent de 0,02 kg d'aliments pour augmenter leur poids d'un kilogramme.

Supposons premièrement que le thermostat de ventilation est réglé pour maintenir la température à 8 °C sans aucun autre apport de chaleur. La température à l'intérieur est donc de douze degrés au-dessous de la température optimale (20–8 = 12 °C). Les aliments excédentaires, au coût de 250 $/t (ou 0,25 $/kg), coûteraient donc:

1 000 porcs × 12 °C × 0,02 × 0,8 kg/j × 0,25 $/kg = 48 $/j

Supposons ensuite que le thermostat est réglé à 20 °C, et qu'il y a suffisamment de puissance électrique (0,02 kW/porc) pour maintenir de saines conditions intérieures lorsqu'il fait –15 °C à l'extérieur; à 0,05 $/kWh pour l'électricité, le chauffage coûterait:

1 000 porcs × 24 h/j × 0,02 kW/porc × 0,05 $/kWh = 24 $/j

Cet exemple simplifie peut-être trop le problème, mais il démontre que des animaux se chauffent soit par l'ingestion d'un excédent d'aliments, soit par un apport de chaleur et que l'électricité ne coûtant que 0,05 $/kWh, c'est la seconde solution qui est la moins chère. Il faut se rappeler que des animaux grégaires comme les porcs gardés en groupes sur un sol relativement sec produisent leur propre micro-environnement. L'éleveur peut donc garder ses bâtiments plus froids et ainsi épargner sur le prix du chauffage et des aliments.

L'énergie et les investissements nécessaires pour créer les conditions appropriées à l'intérieur des bâtiments destinés aux animaux et à la volaille peuvent être contrôlés jusqu'à un certain point par les producteurs. Une bonne connaissance des objectifs ainsi que du système et de son fonctionnement peuvent dans bien des cas entraîner d'importantes économies aussi bien au chapitre de l'énergie que des montants investis en permettant de réduire le taux de mortalité des animaux et le coût du maintien de leurs conditions de santé. Cette publication est en grande partie conçue pour expliquer la façon d'obtenir un meilleur contrôle des conditions de vie à l'intérieur des bâtiments destinés aux animaux ou à la volaille, en consommant une moins grande quantité d'énergie classique; autrement dit, en consommant l'énergie de façon intelligente plutôt qu'en la gaspillant.

ÉQUILIBRE THERMIQUE À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS

L'équilibre thermique d'un bâtiment où les conditions ambiantes sont contrôlées ressemble à un compte de banque: il ne peut être déficitaire, cela peut entraîner soit de mauvaises conditions et des pertes de vie animale, soit des frais de service et des intérêts.

Pertes de chaleur

Pour assurer le confort, la santé et la productivité de certains animaux et de certaines volailles, il faut maintenir une température ambiante minimale dans les bâtiments, 21 °C par exemple. Lorsque la température extérieure est de –20 °C, il y a donc une différence de 41 °C forçant la chaleur à sortir du bâtiment par les murs, le plafond et la base de béton. C'est là une des raisons, et la plus évidente, d'isoler les murs, le plafond et la base afin de stopper les pertes de chaleur par *conduction* (*voir* fig. 1).

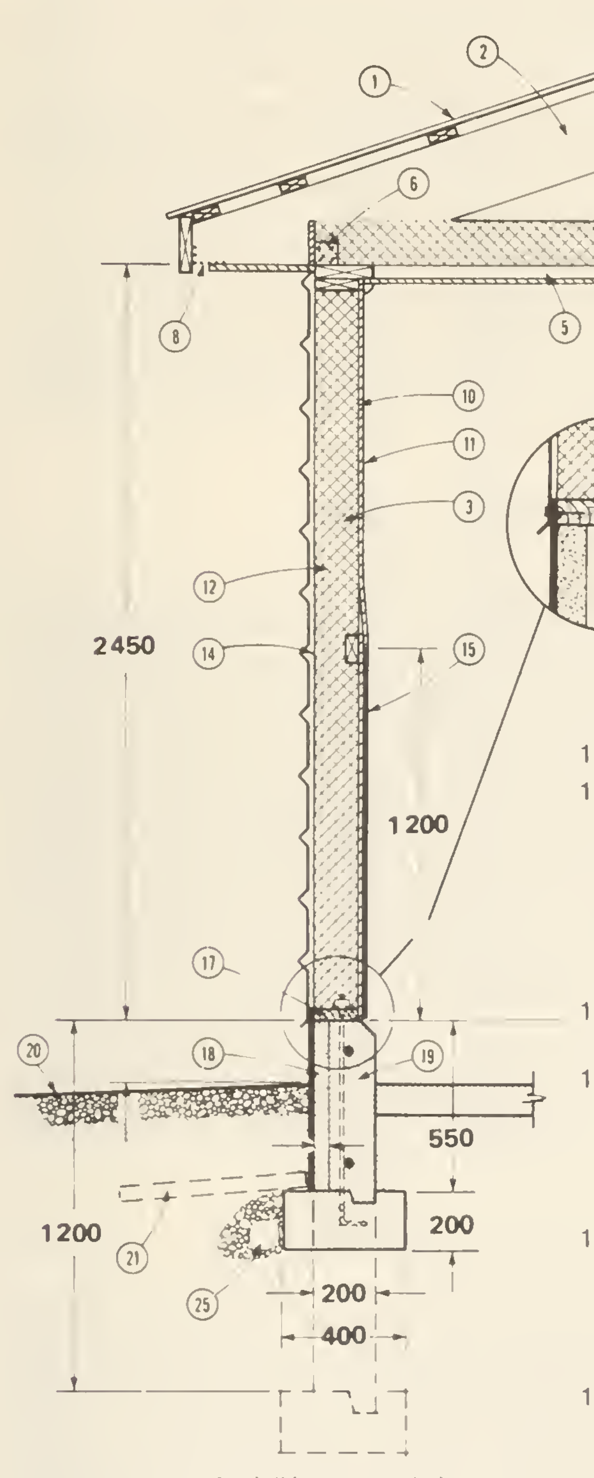
Mais l'isolation est tout aussi importante pour prévenir les pertes de chaleur par *convection* et par *rayonnement*. Les pertes par convection sont causées par le contact de l'air chaud des bâtiments avec des murs froids. L'air froid, plus dense, descend le long du mur et est remplacé par de l'air plus chaud au haut du mur. Ce phénomène crée des courants d'air indésirables pour les animaux parqués le long des murs, surtout s'ils sont au niveau du plancher.

Les pertes de chaleur par rayonnement sont directement causées par un transfert de chaleur entre l'animal et un corps froid «visible», à savoir un mur ou un plafond extérieur mal isolé. Le même phénomène se produit lorsque vous êtes assis devant un feu de camp au cours d'une nuit froide, le devant de votre corps absorbe la chaleur rayonnante du feu pendant que votre dos perd de la chaleur au contact de l'air froid jusqu'à ce que vous vous tourniez (ce que vous ne manquerez pas de faire).

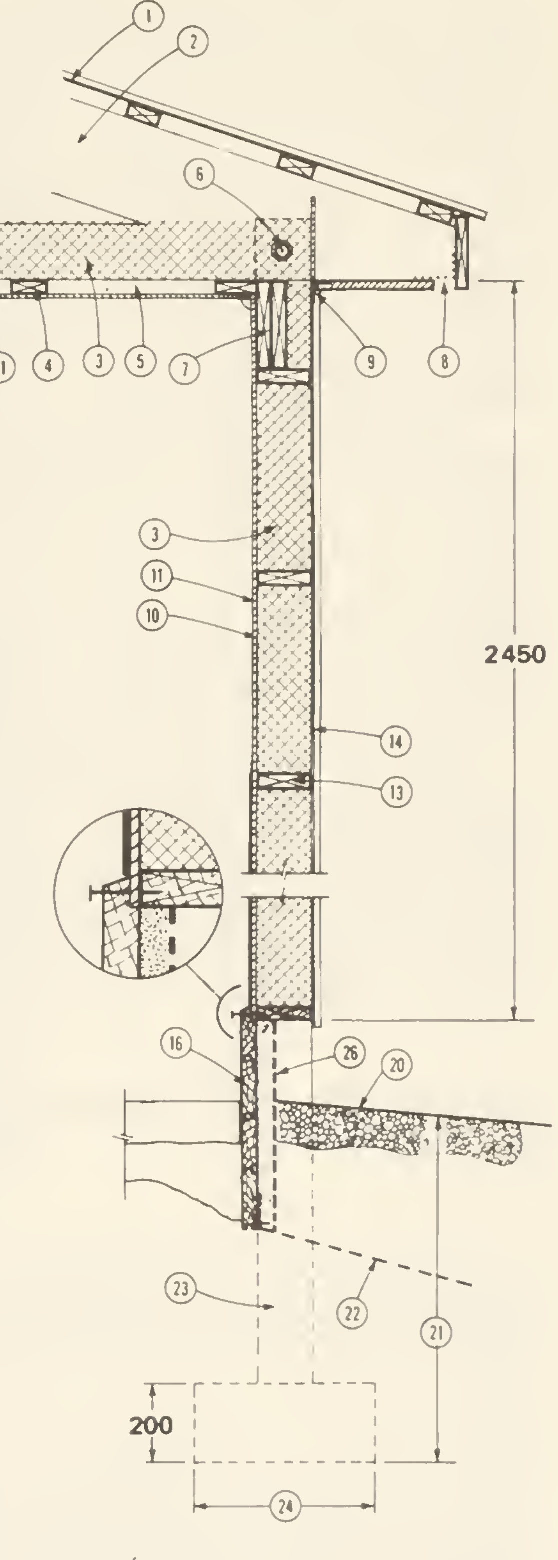
Dans la plupart des bâtiments pour animaux et volailles, la principale perte de chaleur est causée par un échange d'air à partir du bâtiment. La ventilation, ou échange planifié d'air, est essentielle, mais un échange non désiré d'air au-dessus du taux minimal requis par temps froids coûte cher et entraîne un gaspillage d'énergie.

Un bâtiment bien isolé est également très pratique lorsque les animaux sont confinés par temps très chaud. L'isolation réduit au minimum le gain en énergie solaire et l'augmentation de la température à l'intérieur d'un milieu contrôlé. La ventilation d'un bâtiment d'élevage en confinement bien isolé est plus facile et coûte moins cher en été.

Fig. 1 Systèmes d'isolation recommandés pour les constructions à ossature à poteaux.



1. Toiture adaptée à l'écartement des fermes (2)
2. Fermes de 600 ou 1 200 mm de c. à c. selon la charge d'enneigement
3. Isolant thermique à friction (en fibre de verre) RSI-3,5
4. Entremise de plafond de 38 x 89 mm @ 1 200 mm c. à c.
5. Blocs de remplissage de 38 x 64 mm entre les entremises (4) fixées aux fermes
6. Boulon M12 ferme au poteau ou boulon d'ancrage Trip-o-Grip ferme à la poutre
7. Poteau entaillé pour recevoir une poutre faite de deux madriers de 4 800 mm de longueur; joints en retrait à 2 400 mm sur les poteaux (23)
8. Prise d'air de 50 mm munie de treillis pour la ventilation des combles
9. Solin constitué d'une plaque d'acier galvanisé courbée de 50 mm x 50 mm
10. Pare-vapeur de polyéthylène
11. Revêtement en contre-plaqué pour usage extérieur de 9 mm, grain de surface perpendiculaire à la charpente, cloué sur les poteaux au centre et le long des 4 arêtes à l'aide de clous de toiture galvanisés
12. Colombages de 38 x 140 mm @ 600 mm c. à c.
13. Entremises de 38 x 140 mm à @ 600 mm de c. à c. fixées entre les poteaux (23) ; entremise du bas traitée sous pression selon les normes de l'ACC
14. Coupe-vent en papier feutre asphalté, parement extérieur en tôle ondulée (ondulations perpendiculaire à la charpente cloué ou vissé entre les nervures
15. Dans l'aire des cases, contre-plaqué (11) recouvert de panneaux d'amiante-ciment précontraint de 5 mm lourd, percer les trous pour les clous galvanisés calfeutrer toutes les arêtes
16. Madriers de 38 x 140 x 4 800 mm embouvetés et traités sous pression selon les normes de l'ACC, joints disposés en quinconce à 2 400 mm sur les poteaux (23)
17. Lisse traitée sous pression de 38 x 140 mm
18. Panneaux de polystyrène granulaire de 50 mm fixés au coffrage avant de couler le béton; après l'enlèvement du coffrage, couvrir à l'aide de panneaux d'amiante-ciment lourd précontraint de 5 mm cloués à la lisse (17), sous le parement (14)
19. Fondation de béton avec barres d'armature M15 en treillis, de la base au sommet, tige d'anchrage M12, 1 200 mm c. à c.



20. Étanchement de pourtour en gravier (ou utiliser des gouttières)
21. Sous la ligne de gel, additionner l'isolation périphérique horizontale avec empattement peu profond et chauffer continuellement
22. Grillage anti-rongeurs galvanisé cloué à la pièce (16)
23. Poteaux en bois de sciage traités sous pression de 89 x 140 mm @ 2 400 mm c. à c.
24. Empattements de béton de 400 mm placés sous les poteaux (24), augmenter l'empattement pour les bâtiments plus larges et un sol mou
25. Drain d'étanchement de 100 mm, si le sol est mal drainé
26. Isolement du pourtour et panneaux d'amiante facultatifs

Gains de chaleur

Tous les animaux et les volailles produisent de la chaleur sèche appelée chaleur sensible, c.-à-d. que l'on peut ressentir. Cette énergie peut être utilisée pour réchauffer l'air dans un bâtiment d'élevage. Toutefois, la production de cette chaleur est directement proportionnelle à l'activité des animaux ou des volatiles. Lorsque ces derniers sont inactifs au cours de la nuit, les besoins en chaleur du bâtiment sont supérieurs en raison des températures nocturnes plus basses et de l'absence de chaleur solaire. L'équipement électrique, comme les moteurs, les lumières et les radiateurs produisent également de la chaleur.

De plus, les animaux et les volailles, en respirant, dégagent de la vapeur d'eau (chaleur latente) contenue dans leur haleine. Cette humidité, ainsi que celle produite par les abreuvoirs, le fumier et les planchers humides, doit être continuellement éliminée dans les bâtiments d'élevage, même quand il fait froid. Ainsi, la ventilation ou échange d'air est nécessaire: l'air froid de l'extérieur doit être chauffé à la température requise (ex. 21 °C) de façon à éliminer l'air humide.

Lorsque les animaux, la volaille et l'équipement ne produisent pas suffisamment de chaleur pour compenser les pertes, la chaleur récupérée ou un apport de chaleur doit être fourni pour assurer l'équilibre thermique sinon les conditions intérieures seront perturbées. Le contrôle de cet apport de chaleur est la condition essentielle pour épargner énergie et argent.

COMMENT ASSURER LE CONTRÔLE D'AMBIANCE

Dans le cas des jeunes animaux et des volailles qui nécessitent une température minimale constante, 21 °C par exemple, un bâtiment bien isolé est essentiel pour réduire au minimum les pertes de chaleur par conduction, convection et rayonnement et, donc, créer un milieu chaud, sec et exempt de courants d'air. Mais l'humidité, les gaz et la poussière doivent être éliminés, et c'est pourquoi la ventilation est essentielle pour changer l'air. En hiver, la fréquence des changements d'air est régie par le taux d'humidité relative (HR) de l'air ambiant. Lorsque le bâtiment est bien isolé, le taux d'HR peut atteindre 80 % avant que l'humidité soit perceptible et qu'il se produise de la condensation sur les murs froids du bâtiment. La figure 2 illustre le principe de la saturation de l'air à la surface d'un mur froid. Lorsqu'il y a condensation, il y a également des courants d'air par convection, et la détérioration du bâtiment est accélérée par l'eau qui agit à la fois sur et dans les éléments de la charpente.

Lorsque le bâtiment n'est pas bien isolé, il suffit d'abaisser le taux d'HR en augmentant le débit de ventilation et en maintenant la température constante à l'intérieur. Mais cette pratique coûte très cher en énergie et ne doit être utilisée que pour de courtes périodes ou en cas d'extrême urgence. Même dans un bâtiment bien isolé, les pertes de chaleur par ventilation excèdent grandement les pertes de chaleur par la charpente du bâtiment (par conduction). La figure 3 en est une bonne illustration. Lorsqu'il fait froid (−18 °C), dans une salle de sevrage des porcelets bien isolée à 21 °C, il faut 15,6 fois plus d'énergie pour remplacer les pertes de chaleur par ventilation que pour remplacer les pertes par conduction. Avec une ventilation minimale nécessaire au contrôle de l'humidité, les porcelets en période de sevrage sont capables de fournir 58 % de toute l'énergie thermique requise. Étant donné que le déficit thermique est déjà de l'ordre de 16 kW à un taux d'HR de 80 %, toute autre baisse du taux d'HR par surventilation nécessitera un apport de chaleur supplémentaire ou de chaleur récupérée.

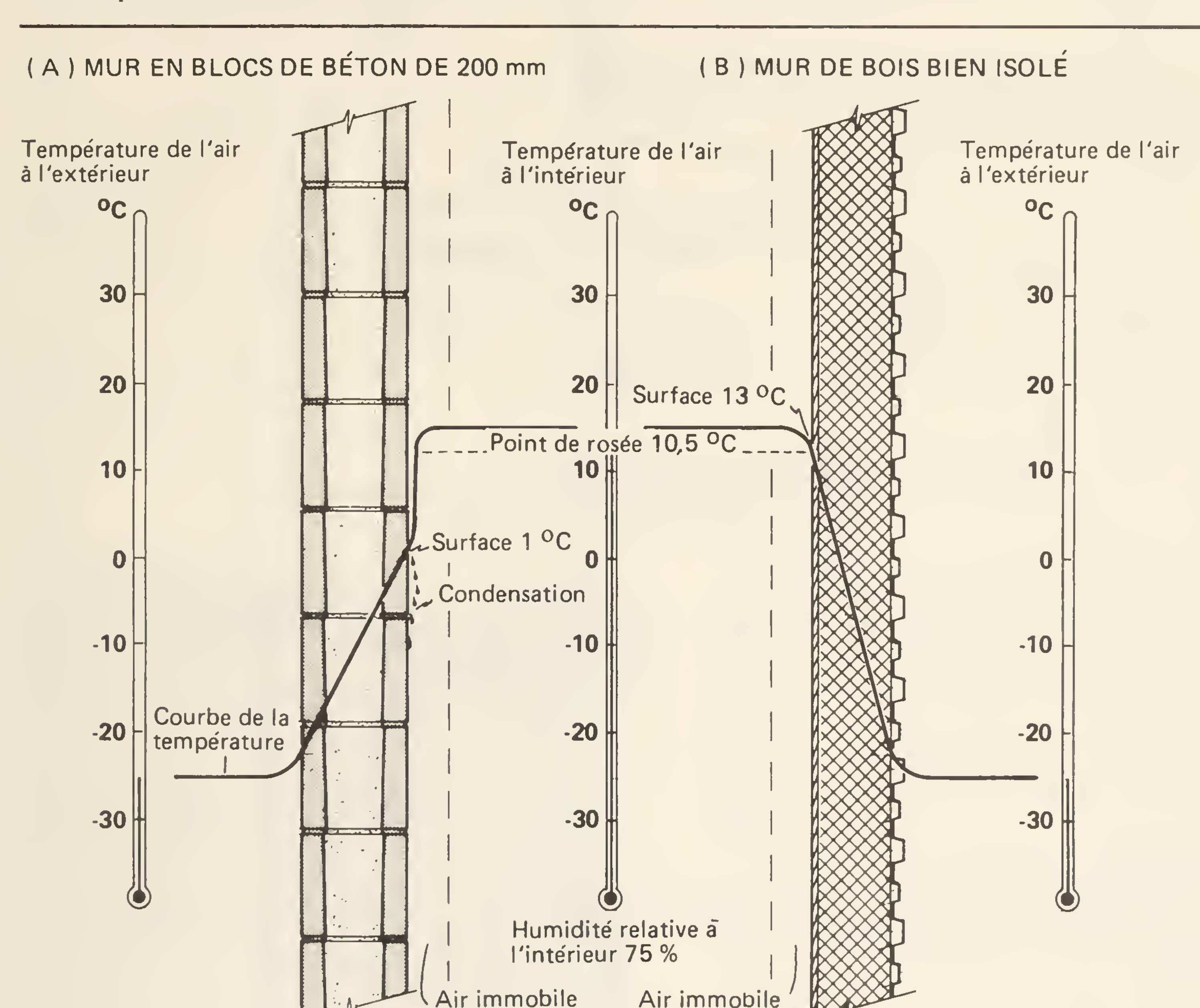
Déshumidification en hiver

Lorsqu'il est chauffé à la température ambiante, l'air froid de l'extérieur peut transporter beaucoup de vapeur d'eau (fig. 4). Un kilogramme (700 litres) d'air froid ne transporte que 0,4 gramme de vapeur d'eau à un taux d'HR de 100 %. L'air chauffé de −25 °C à + 15 °C, qui atteint alors un volume de 820 L, peut transporter 8,0 g de vapeur d'eau à un degré de saturation de seulement 75 %. Le potentiel de déshumidification est de 7,6 g d'eau par 820 L d'air évacué. Lorsque l'air de la pièce est évacué dans l'air froid de l'extérieur, sa vapeur d'eau se condense pour former un brouillard visible autour du capuchon du ventilateur les matins clairs (fig. 5). Une grande quantité de chaleur est ainsi évacuée. Des récupérateurs de chaleur peuvent être utilisés afin d'en récupérer une certaine partie.

Régulation de la température

À une température extérieure donnée, selon le bâtiment considéré, la taille des animaux ou des volailles et la superficie occupée par chacun, il arrive un moment où la chaleur excédentaire, et non l'humidité, devient le facteur déterminant de la fréquence d'échange d'air ou de ventilation. Ce stade s'appelle communément la température critique, au-dessous de laquelle il faut un apport de chaleur. La figure 6 donne l'exemple typique d'une étable laitière à stabulation entravée. Lorsque la température baisse au-dessous de −12 °C, un dilemme se présente: on peut sous-ventiler le milieu en maintenant sa température à un degré constant (le bilan thermique) et en permettant à la vapeur d'eau de s'accumuler, solution acceptable seulement si elle est temporaire, soit pendant une ou deux nuits froides; on peut aussi chauffer l'air ambiant pour enchasser la vapeur d'eau, mais cela coûte très cher dans le cas d'une étable laitière. Il est souvent préférable dans ce cas de réduire la température à l'intérieur du bâtiment, du moment que celle-ci demeure à quelques degrés au-dessus du point de congélation, 7 °C par exemple. La production laitière avec

Fig. 2 Prévention de la condensation de la vapeur d'eau sur les murs par l'isolation.



des vaches Holstein, par exemple, ne diminuera pas sensiblement et l'air sera plus frais et moins humide. La plupart des animaux adultes peuvent s'adapter aux basses températures; en fait, ils compensent cette baisse de température en produisant plus de chaleur sensible (sèche) et moins de chaleur latente. Le même principe *ne peut* s'appliquer en période de couvaison, de mise bas ou de sevrage. Dans ces cas, il faut ajouter de la chaleur ou utiliser la chaleur récupérée lorsqu'il y a température critique. L'utilisation d'un équipement de chauffage de puissance adéquate et de contrôles appropriés permet de maintenir l'humidité au niveau désiré sans gaspillage d'énergie.

Au-dessus du seuil de température critique, la chaleur excédentaire produite par les animaux ou les volailles doit être récupérée en augmentant le débit de ventilation de deux à trois fois sa valeur nominale à mesure que la température extérieure augmente. Ce but peut être atteint en combinant des ventilateurs à vitesses variables ou à deux vitesses ou plusieurs ventilateurs conçus pour le nombre et la grosseur des animaux ou des volailles dans le bâtiment. En été, on peut également recourir à la ventilation naturelle dans certains cas.

COÛT ÉNERGÉTIQUE DU CONTRÔLE D'AMBIANCE

Comme nous l'avons déjà mentionné, la surventilation entraîne un gaspillage d'énergie et d'argent si le système de chauffage est constamment en marche.

La surventilation peut être produite par plusieurs facteurs:

a) réduction du taux d'HR dans un bâtiment mal isolé;
b) un bâtiment dont les ouvertures ne sont pas bien scellées, permettant ainsi l'infiltration d'air extérieur;
c) des ventilateurs dont la puissance ou le débit nominal n'est pas approprié (à fonctionnement continu ou à contrôle d'humidité);
d) des contrôles thermostatiques imprécis ou encrassés;
e) des contrôles thermostatiques mal placés: un contrôleur de chaleur situé dans un courant d'air entraîne une surventilation;
f) des contrôles thermostatiques dont le point de consigne n'est pas réglé assez haut ou qui sont mal

Fig. 3 En saison froide, les pertes de chaleur par ventilation sont supérieures aux pertes de chaleur par conduction dans les porcheries bien isolées, de sorte que le taux d'humidité relative se maintient juste au-dessous de 80 %.

Fig. 4 En hiver, lorsque l'air froid est chauffé, il peut se charger d'une quantité considérable de vapeur d'eau produite par les animaux ou les volailles.

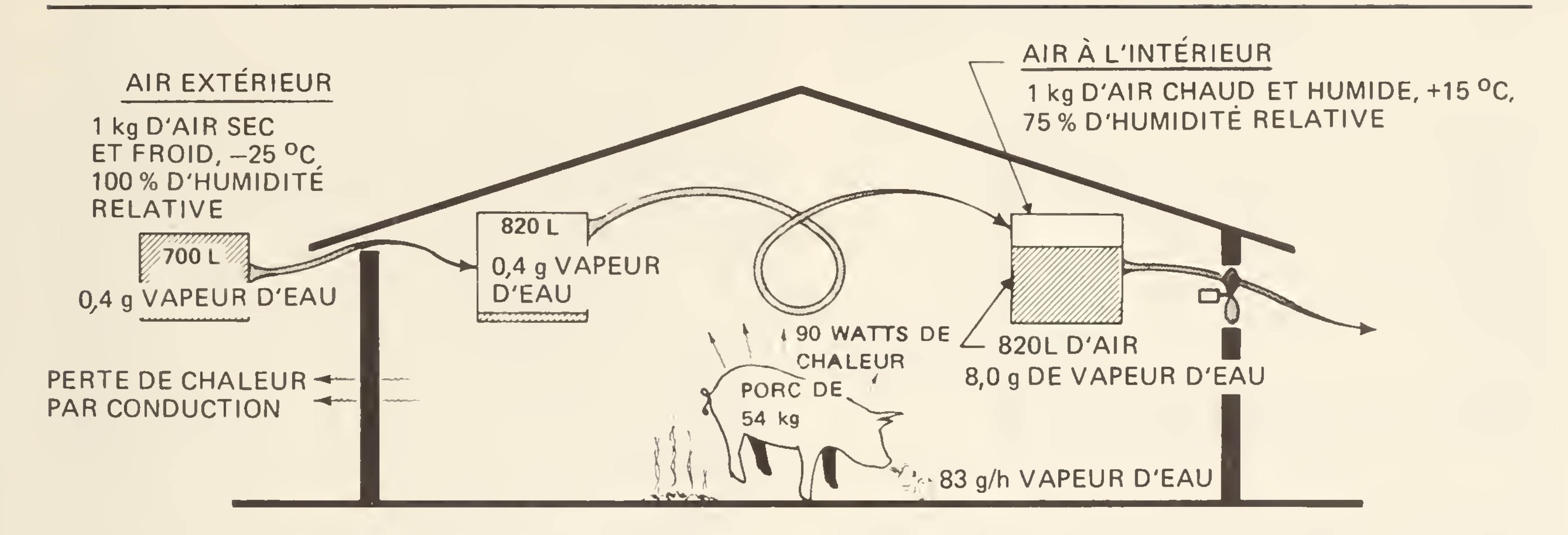




Fig. 5 L'air évacué devient saturé lorsqu'il entre en contact avec l'air froid.

calibrés sur des ventilateurs à débit élevé (pour la régulation thermique).

En saison froide, lorsque la ventilation persiste pour quelque raison que ce soit, le coût du chauffage est très élevé. Prenons par exemple un débit de surventilation de 500 L/s à une température extérieure de −18 °C et à une température intérieure de +21 °C. La quantité de chaleur supplémentaire gaspillée peut atteindre 574 kWh (28,70 $ par jour si l'électricité coûte 0,05 $/kWh) à condition que l'équipement de chauffage supplémentaire soit assez puissant pour fournir cette chaleur, et c'est souvent le cas étant donné que des appareils de chauffage très puissants sont installés pour assurer une marge de sécurité.

Dans le cas de la porcherie d'élevage montrée à la figure 3, il est possible que dans les mêmes conditions atmosphériques, la quantité d'énergie nécessaire équivale à 384 kWh (16 kW × 24 h) soit un coût de 19,20 $ par jour. Mais s'il faut ajouter 28,70 $ pour la surventilation, le coût du chauffage s'élève à 47,90 $, soit près de 2,5 fois le coût normal. Cette augmentation s'applique, quel que soit le type de combustible utilisé.

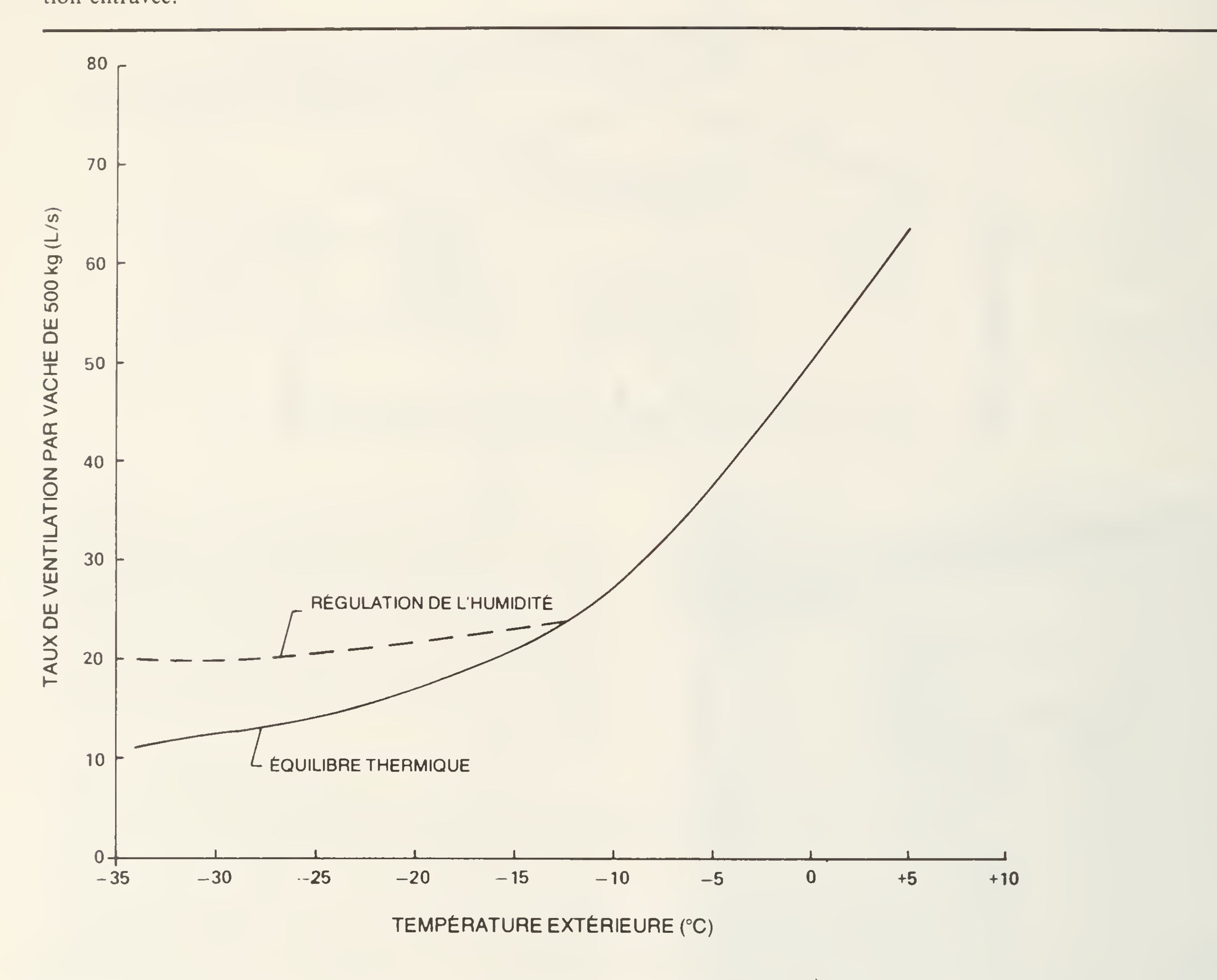
À raison de 250 $ par tonne d'aliments, le montant de 19,20 $ équivaut à 77 kg d'aliments tandis que 47,90 $ équivaut à 192 kg d'aliments. La somme de 19,20 $ est mieux dépensée en chaleur qu'en aliments. Mais le gaspillage d'énergie causé par la surventilation (de 19,20 à 47,90 $ par jour) n'entraînera vraisemblablement pas une économie de 115 kg d'aliments par jour alors que le contrôle de la température et de l'humidité relative est déjà presque optimum.

Régulation des échanges d'air

Il n'est pas toujours facile d'obtenir le débit d'évacuation d'air désiré par temps froid. Jusqu'à présent, aucun programme normalisé d'essai des ventilateurs agricoles n'a été appliqué au Canada. Mais des travaux prometteurs se font actuellement en ce sens. L'essai de ventilateurs d'évacuation de 450 mm par Huffman et Pegg (1981) a indiqué d'importantes variations du débit, particulièrement à faible vitesse. Le rendement énergétique, c'est-à-dire le débit exprimé en L/s par watt de courant, variait de façon considérable d'une marque à l'autre.

Jusqu'à présent, le mieux est d'avoir deux taux de ventilation, un juste au-dessous et l'autre juste au-dessus du débit nécessaire en hiver permettant ainsi une souplesse d'utilisation maximale. Cette façon de procéder est particulièrement importante pour les bâtiments dans lesquels le poids et la densité des

Fig. 6 Débit de ventilation pour le contrôle de l'équilibre thermique et de l'humidité dans une étable laitière à stabulation entravée.



animaux ou des volailles est variable, comme les porcheries ou les éleveurs de poussins. La figure 6 constitue un bon exemple à cet égard. Il est possible d'obtenir un faible débit continu d'extraction d'air de l'ordre de 10 L/s par vache de 500 kg avec possibilité d'accroître le débit à un peu plus de 20 L/s en installant un ou plusieurs ventilateurs à deux vitesses ou deux petits ventilateurs, selon la dimension et la forme du bâtiment. Deux ou trois autres étapes de ventilation pour la régularité thermique devraient être prévus pour permettre d'augmenter graduellement le débit total de la ventilation selon l'augmentation de la température extérieure lorsque celle-ci est au-dessus de -12 °C. Le débit maximum en été dépend de l'aménagement intérieur désiré. Dans certains cas, la ventilation naturelle peut être utilisée en été si le bâtiment possède les ouvertures appropriées, c.-à-d. des fenêtres, des portes et des panneaux basculants.

Le débit réel de production d'humidité par les animaux ou les volailles varie selon l'aménagement, le système de manutention et de stockage du fumier, le type d'aliments et d'autres facteurs. Des essais effectués en Alberta par Clark et al. et Smith et al. (1980) dans des porcheries et des étables laitières ont indiqué d'importantes variations dans les débits de déshumidification nécessaires et, donc, des besoins en matière de régulation des échanges d'air. Ces facteurs de gestion font que la conception du système de ventilation par étapes est essentielle de façon à assurer une souplesse d'utilisation, particulièrement en hiver, pour réduire au minimum le chauffage supplémentaire tout en maintenant une ambiance presque idéale.

Le rendement énergétique des ventilateurs est important, mais leur importance ne doit pas être surestimée au détriment du système qui fonctionne toute l'année. Il est reconnu que les ventilateurs à faible vitesse et à grand diamètre ont un rendement énergétique supérieur. Ils produisent un plus grand débit d'air (L/s) par watt et doivent être utilisés pour la ventilation d'été à débit élevé. Ce serait cependant une grave erreur de les utiliser pour la régulation thermique en hiver. Sauf dans les unités de production très vastes, comme les grands poulaillers de ponte, ces gros ventilateurs créent une surventilation qui coûte très cher en ce qui a trait à l'énergie lorsqu'il faut chauffer l'intérieur, ou ils entraînent une mauvaise régulation. La régulation par on/off à faible régime en hiver,

réglée par une minuterie, devrait être évitée si possible, sauf lorsque cela est nécessaire dans les petits bâtiments, comme les petites unités de mise bas. Même l'accumulation à court terme d'ammoniac et de vapeur d'eau peut créer un milieu malsain et accélérer la détérioration du bâtiment. Certains fabricants de ventilateurs fournissent de petits ventilateurs à faible débit pour ces cas. Ceux-ci doivent être utilisés même si leur rendement énergétique est faible. Par exemple, les économies potentielles d'énergie thermique supplémentaire qu'ils permettent de réaliser sont de beaucoup supérieures au coût de leur utilisation dans les unités de mise bas ou les enclos à veaux chauffés.

Dans certaines régions du Canada, on utilise de plus en plus une ventilation naturelle entièrement contrôlée qui permet de réduire autant que possible l'énergie nécessaire pour déplacer l'air. Cette méthode est utilisée avec succès dans les étables à ambiance modifiée pour les vaches laitières ou les boeufs de reproduction – où le maintien d'une température minimale n'est pas critique – et même dans les porcheries d'alimentation en régions plus chaudes.

MOYENS DE RÉDUIRE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE AVEC LES TECHNIQUES ACTUELLES

Aération efficace

Il est très important d'assurer une aération efficace des bâtiments. La plupart des bâtiments à ambiance contrôlée abritant des animaux et des volailles au Canada sont ventilés par un système à pression négative. Les ventilateurs d'évacuation créent une pression légèrement négative à l'intérieur du bâtiment en expulsant l'air à l'extérieur. Le principe est illustré à la figure 7. La différence de pression statique peut être mesurée en millimètres de colonne d'eau ou en pascals (Pa), à l'aide d'un simple manomètre (tube en U). Le manomètre incliné, plus pratique, permet de mesurer les faibles différences de pression avec plus de précision (fig. 8). La colonne élevée doit monter jusqu'au grenier ventilé, à pression extérieure, pour éliminer l'effet du vent. La colonne basse doit être recourbée vers le bas pour éviter l'introduction de poussière, à l'intérieur du tube. Le manomètre est un guide très efficace pour ajuster les entrées d'air de type «à fentes», tel qu'illustré à la figure 9.

La figure 10 illustre une installation d'entrée d'air de type «à fentes», ajustée à l'aide d'un petit treuil d'embarcation. L'emplacement de cette entrée d'air détermine la distribution d'air frais à l'intérieur de la pièce. L'ajustement permet de régler le mélange d'air frais fourni aux animaux de façon à éviter les courants d'air (fig. 9). La vitesse de l'air à l'entrée doit être d'au moins 4 m à la seconde (4 m/s) pour obtenir un bon mélange et une bonne circulation à l'intérieur du bâtiment; elle ne devrait toutefois pas dépasser environ 5 m/s afin d'éviter de surcharger les ventilateurs d'évacuation et d'en réduire le débit, le rendement énergétique et la durée du moteur.

Fig. 7 Les ventilateurs d'évacuation créent une faible pression négative à l'intérieur du bâtiment forçant l'air à pénétrer par des entrées d'air ou des fentes qui doivent être réparties de façon uniforme.

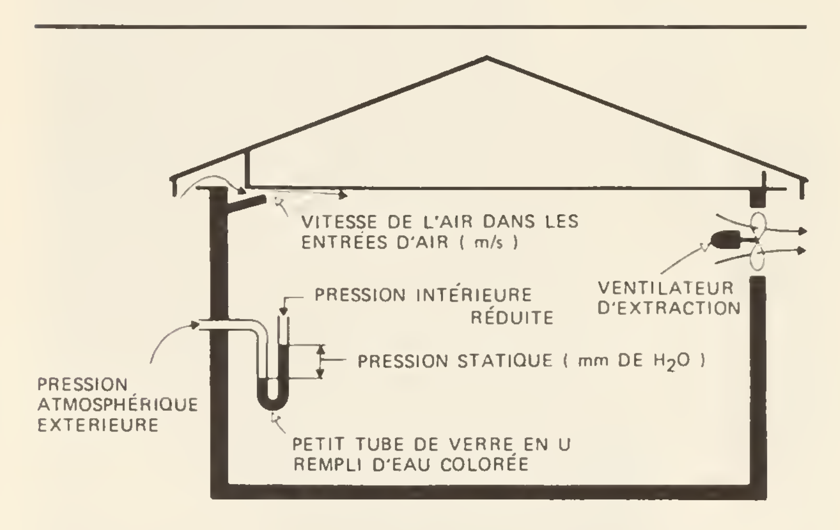


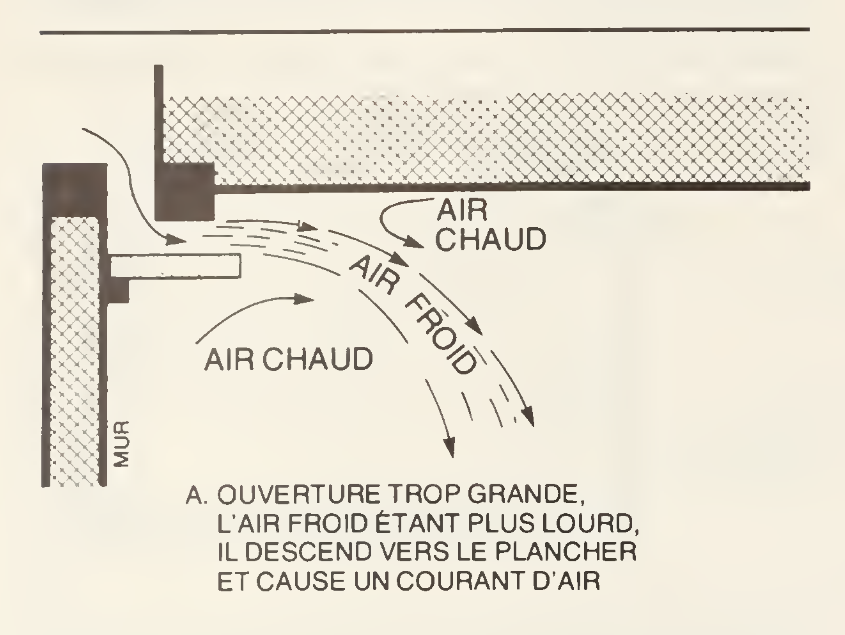


Fig. 8 Manomètre incliné de type commercial pour mesurer la pression négative, permettant un ajustement précis de l'entrée d'air.

Il faut encore faire entrer l'air dans le bâtiment de façon efficace. La *prise d'air* (ou section d'amenée d'air jusqu'à l'entrée) doit avoir les dimensions appropriées et être située au bon endroit. Elle peut avoir diverses configurations, mais quelques principes de base doivent être constamment respectés.

1. La superficie de la prise d'air doit être suffisante pour répondre aux besoins de ventilation en été. Bien des systèmes ne sont pas efficaces pour ne pas avoir respecté ce principe. Lorsque la superficie de la prise d'air, généralement percée dans le soffite, est trop petite, les ventilateurs d'évacuation forcent et sont ainsi moins efficaces; l'air chaud du grenier peut être aspiré

Fig. 9 Les fentes de l'entrée d'air doivent être réglées de façon appropriée pour assurer un mélange de l'air sans créer de courants d'air.



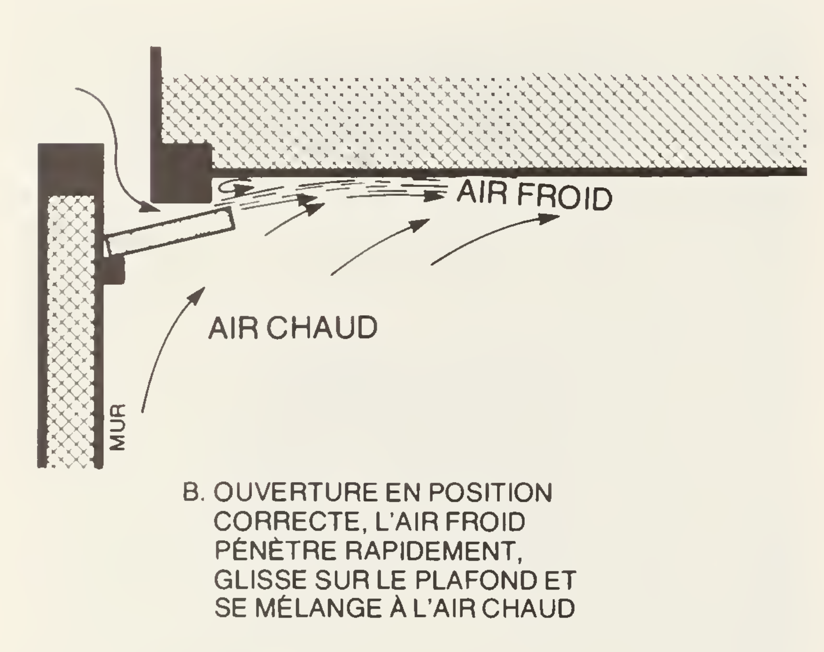


Fig. 10 L'ouverture des fentes de l'entrée d'air peut être facilement réglée à l'aide d'un petit treuil utilisé pour les bateaux.



vers le bas et l'air pénétrant par l'entrée n'est pas propagé adéquatement pour assurer une bonne circulation d'air à l'intérieur du bâtiment. En général, on tente de résoudre ce problème de ventilation en été en ouvrant une ou plusieurs portes ou encore en ajoutant des ventilateurs d'évacuation d'air pour éliminer l'air chaud. Ces deux solutions sont boîteuses; les ventilateurs additionnels entraînent un gaspillage d'énergie et les portes ouvertes favorisent certains animaux au détriment des autres, qui n'ont pas la chance de se trouver près des ouvertures.

La superficie de la prise d'air en été doit permettre le passage de l'air à une vitesse (V) ne dépassant pas 2 m/s, en ligne droite, ou 1 à 1,5 m/s, lorsque le tracé présente de brusques modifications, de façon à atteindre 4 m/s dans la fente de l'entrée d'air par l'action des ventilateurs d'évacuation. Si les pertes par friction sont trop élevées entre la prise d'air et les fentes d'admission, la diffusion n'est pas efficace et ne permet pas une bonne circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment, surtout au niveau des animaux ou des volailles.

Il est relativement facile d'établir les dimensions de la prise d'air étant donné qu'un litre équivaut à 0,001 mètre cube. Par exemple, si un bâtiment nécessite une ventilation d'été (Q) de 6 000 L/s, la *superficie minimum de la prise d'air* (A) doit être:

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{m^3/s}{m/s} = m^2 = \frac{6\,000 \text{ L/s} \times 0{,}001 \text{ m}^3\text{L}}{2 \text{ m/s}} = 3 \text{ m}^2$$

En été, la superficie totale de l'ouverture de la *fente d'admission d'air* ne doit donc être ici que de 1,5 m^2 pour maintenir la vitesse de propulsion d'air à 4 m/s. La vitesse à l'entrée d'air est facile à établir à l'aide d'un manomètre incliné (fig. 8): celui-ci doit indiquer 1,3 mm d'eau ou 13 Pa. S'il indique plus haut et que l'air n'est pas propagé de façon adéquate, la prise d'air est probablement insuffisante ou obstruée. Les prises d'air doivent être protégées par un grillage pour empêcher les oiseaux et les rongeurs d'y pénétrer (fig. 11). Ce sont les grillages grossiers (mailles de 6 × 6 mm) qui sont les plus pratiques, car les grillages plus fins, bien qu'ils empêchent les insectes d'entrer, sont trop souvent obstrués par la poussière ou d'autres matières, ce qui réduit le débit d'air (fig. 12). De toute façon, les mouches et autres insectes cherchent le plus possible à éviter les courants d'air trop forts.

2. Les prises d'air doivent être protégées du vent et de la neige. Si la prise d'air est percée dans le soffite, elle doit se trouver près de la bordure du toit, sur un mur autre que celui où la neige s'accumule (fig 13). La neige n'est pas le seul élément à prendre en considération: le vent peut en effet créer une pression positive à l'entrée d'air, produisant une surventilation non souhaitable en hiver. Dans le cas des bâtiments en longueur qui ne sont pas protégés du vent par des arbres ou d'autres bâtiments, un vent oblique sur une prise d'air mal située et mal protégée peut inverser le courant d'air en créant une pression négative sur la face au vent et une pression positive sur la face sous le vent. Ce phénomène peut entraîner d'importantes



Fig. 11 La fente de prise d'air doit avoir une largeur suffisante, être écartée du mur et protégée par un grillage pour empêcher les oiseaux d'entrer.



Fig. 12 Cette prise d'air est munie d'un grillage fin (un moustiquaire) qui s'encrasse facilement et est placée devant la voie de roulement de la porte, ce qui nuit à l'entrée d'air. Ces deux caractéristiques sont mauvaises.

différences de température et de ventilation dans le bâtiment. Ce genre de problème est souvent plus grave lorsque le bâtiment est flanqué d'un silo, d'une salle de lait ou d'une autre annexe. Ces constructions qui stoppent le vent créent en effet une zone de haute pression sur la face au vent et une zone de pression négative sur la face sous le vent.

L'installation de la prise d'air grillagée juste derrière la bordure de toit élimine la plupart de ces problèmes. Dans bien des bâtiments, il est pratique d'ajouter à la prise d'air une porte à charnières ne couvrant pas toute l'ouverture, tel qu'illustré à la figure 13. Cette porte peut être fermée pendant l'hiver tout en assurant une entrée d'air suffisante. Une certaine quantité d'air peut également être aspirée du grenier pour la ventilation en hiver lorsque la prise d'air est située sur la bordure, à condition toutefois d'assurer une ventilation continue afin de prévenir tout refoulement d'air.

Lorsque les prises d'air sont percées dans le mur (comme dans le cas des poulaillers à plusieurs étages), elles doivent être protégées par un capuchon; celui-ci doit descendre plus bas que l'ouverture percée dans le mur et sa bride doit être éloignée d'au moins 100 mm du mur (fig. 19 à 22). Les problèmes peuvent souvent être éliminés ou du moins atténués au moyen d'un déflecteur galvanisé ou en métal peint fixé au mur à l'entrée de la prise d'air pour détourner l'air poussé par le vent le long du mur. Il est essentiel que les dimensions de la prise d'air ne soient pas réduites par ce déflecteur de vent.

Dans le cas des bâtiments en longueur d'une seule pièce dans lesquels il y a une grande variation de températures due à l'effet du vent, il est souvent pratique d'aménager des chicanes afin de «sectionner» le système de prise et d'entrée d'air. Le sectionnement



Fig. 13 Cette prise d'air grillagée, de largeur suffisante pour la ventilation d'été, est placée loin du mur et munie d'une porte pour réduire les effets du vent et de la neige en hiver.

empêche les variations de pression dans un réseau d'admission d'air en continu. Une façon d'aplanir temporairement certaines difficultés consiste à inverser les contrôles des ventilateurs d'hiver c'est-à-dire, lorsque le bâtiment est orienté nord-sud, de relier le ventilateur nord au thermostat sud et vice versa.

Il est essentiel que le système de prise et d'entrée d'air soit bien conçu et protégé du vent et de la neige pour que la ventilation soit efficace.

Ventilation du grenier

Le grenier situé au-dessus des salles à ambiance contrôlée doit être bien ventilé pour empêcher la condensation et réduire la chaleur en été.

Que le bâtiment soit bien construit ou non, il y a toujours de la vapeur d'eau qui s'infiltre à travers le plafond, même avec un bon pare-vapeur. Les attaches de plafond finissent en effet par percer celui-ci et la vapeur d'eau pénètre dans le grenier. Si cette vapeur n'est pas éliminée par l'échange d'air, elle se condense, imbibe l'isolant et en réduit la valeur R, et détériore la charpente du bâtiment. L'échange d'air est encore plus important lorsque le plafond est fait d'un matériau poreux pour permettre l'entrée d'air en hiver (voir Agriculture Canada, publication n° 1714 *Stabulation entravée des bovins laitiers*).

Par ailleurs, le grenier doit être bien aéré afin de réduire la charge de chaleur en été. Lorsqu'il fait beau en été, la température peut dépasser 50 °C dans un grenier non ventilé. La meilleure solution consiste à percer des fentes grillagées dans l'avant-toit pour permettre à l'air d'entrer, et à installer des ventilateurs de pignon ou de faîte pour permettre à l'air chaud de sortir (fig. 14 et 15). Lorsque les ouvertures de ventilation sont suffisantes, il n'est pas nécessaire de recourir à des ventilateurs.

Dans la mesure du possible, le revêtement de toit doit être de couleur claire, blanc ou aluminium. Certains diront qu'un toit foncé agit comme un collecteur solaire en hiver. Ce facteur peut jouer, mais un toit dont la pente est, par exemple, de 1:3 fait un piètre collecteur solaire dans nos latitudes septentrionales (au-dessus de 40°C). Par temps clair, la nuit, un toit foncé agissant comme collecteur à plaque nue réémet la chaleur dans le ciel, faisant baisser la température à l'intérieur du grenier *au-dessous* de la température extérieure au moment où cette chaleur est le plus nécessaire, c'est-à-dire la nuit (Winfield et Munroe, 1980).

Les fentes d'aération continue de l'avant-toit peuvent faire partie du système d'admission d'air du bâtiment (pour les systèmes installés sur la bordure de toit), ce qui réduit les coûts de la main-d'œuvre en construction. Avec ce dispositif, il est essentiel d'installer des chicanes entre les fermes de comble, en ne laissant qu'une étroite fente à la partie supérieure pour laisser passer l'air de ventilation du grenier. Ces chicanes permettent de retenir les matériaux d'isolation du plafond qui pourraient autrement être déplacés par le vent ou entraînés dans les entrées d'air. De plus, facteur beaucoup plus important du point de vue énergie et environnement en été, ces chicanes permettent de réduire la quantité d'air chaud du grenier aspirée par l'entrée d'air. Dans bien des bâtiments *dont la prise d'air de l'avant-toit est insuffisante en été*, l'air de ventilation est aspiré du grenier par les ouvertures pratiquées dans le pignon ou le faîte. Il peut en résulter un important surchauffage du bâtiment à moins de placer, sous le revêtement du toit, un isolant qui réduise les gains en chaleur solaire. On attribue souvent à une insuffisance du ventilateur d'évacuation le fait que la température ambiante soit trop élevée. C'est une erreur: l'augmentation de la capacité du ventilateur ne fera qu'amplifier cet effet tout en augmentant la consommation d'électricité. La solution consiste simplement à augmenter la superficie de la prise d'air.



Fig. 14 Ce soffite perforé ne peut qu'assurer la ventilation du grenier et ne suffit pas à ventiler tout le bâtiment en été. Cette ouverture ne fournit qu'une partie de l'air nécessaire.



Fig. 15 Ce volet d'aération installé sur le pignon permet d'évacuer l'air chaud du grenier en été. Des volets plus gros peuvent également servir de prises d'air pour les installations centralisées.

Circulation et recirculation par ventilation artificielle

Il existe toute une gamme de systèmes de ventilation que l'on peut acheter tout faits ou fabriquer soi-même. L'utilisation de ventilateurs pour introduire, faire circuler ou recirculer l'air dans un bâtiment à ambiance contrôlée augmente la consommation d'électricité. Cela ne devrait pas poser de problèmes importants en hiver étant donné que l'énergie peut être récupérée indirectement au besoin sous forme de chaleur supplémentaire.

Dans les vieux bâtiments convertis en bâtiments à ambiance contrôlée, ces systèmes constituent souvent la méthode d'aération la plus pratique et la plus économique. Les bâtiments très larges, aux murs de maçonnerie épais et compartimentés par des murs, comme les porcheries de mises bas multiples, font tous partie de cette catégorie.

Les systèmes de distribution à air poussé (ventilo-convecteurs) permettent également de répartir l'air chaud des échangeurs de chaleur (récupérateurs). Cet air doit être distribué uniformément à tous les animaux et/ou volailles à l'intérieur du bâtiment afin qu'il n'y ait pas d'espace privé d'aération.

Fig. 16 L'installation de panneaux pivotants ou de tout autre mécanisme de réglage de l'admission d'air dans les bâtiments à ambiance modifiée dans les exploitations laitières ou les élevages de boeufs permet d'économiser sur le coût des ventilateurs et de l'électricité. L'air chaud chargé d'humidité s'échappe vers le haut par une ouverture appropriée dans le faîte du toit.





Le recyclage de l'air dans les bâtiments à ambiance contrôlée, à plafond haut ou à toit cathédrale permet également d'économiser de l'énergie en empêchant la stratification ou l'étalement de l'air en couches de température en hiver, lorsque le débit de ventilation est faible. Les deux seuls problèmes de la recirculation de l'air sont les suivants: 1) les organismes pathogènes transportés dans l'air peuvent se répandre plus rapidement parmi tous les animaux ou volailles et 2) les courants d'air créés par les bouches de soufflage à débit élevé peuvent être déviés sur les animaux ou les volailles par les divers obstacles dans le bâtiment.

Il faut également tenir compte de la configuration extérieure des unités de prise et d'évacuation d'air pour le recyclage. En effet, en hiver, l'air évacué est refroidi et transporte des gouttelettes d'eau (fig. 5). Lorsque cet air est soufflé par le vent dans la prise d'air, il faut que ces gouttelettes d'eau soient revaporisées, ce qui nécessite une importante quantité d'énergie thermique. De plus, lorsqu'on atteint la température critique, comme cela est souvent le cas lorsqu'il fait très froid, l'humidité relative augmente à l'intérieur du bâtiment même lorsque le débit d'évacuation de l'air est maintenu. Il faut alors surventiler, ce qui fait grimper la facture de chauffage, ou tolérer une forte humidité à l'intérieur du bâtiment. En général, la solution consiste à installer un déflecteur entre la prise d'air et la bouche d'évacuation (ou tout autre mécanisme extérieur de protection contre le vent, comme des capuchons de ventilateurs).

Ventilation naturelle

Cette solution est très avantageuse du point de vue consommation d'énergie. Ce principe est utilisé depuis longtemps et devrait continuer à l'être dans les installations à ambiance modifiée servant à loger des animaux, pourvu que le coût en alimentation ne soit pas considérablement accru. Dans une installation à ambiance modifiée, la température intérieure fluctue avec la température extérieure, tout en lui restant toujours supérieure de 5 à 8 °C. L'air froid pénètre ainsi par les avant-toits ou les panneaux muraux tandis que l'air chaud, plus léger, monte et est évacué par une ouverture dans le faîte. Les bâtiments à ventilation naturelle servent généralement pour l'élevage des bovins, des bovins laitiers en stabulation libre et des animaux de remplacement du troupeau laitier; le rendement de ces animaux n'est en effet pas perturbé par les basses températures ou les fluctuations de température (fig. 16).

L'augmentation du coût de l'énergie a renouvelé l'intérêt que l'on portait aux porcheries à ventilation naturelle au Canada. Il existe, en gros, deux types d'installation, dont l'un est illustré à la figure 17. Le principe de fonctionnement est semblable qu'il s'agisse d'unités à toit à pente simple ou en pignon. Le pla-





Fig. 17 Des commandes thermostatiques actionnent les panneaux d'admission d'air (photo en bas) et l'ouverture du faîte du toit (photo du haut) pour maintenir la température minimale d'hiver. L'air chaud s'élève par aspiration (effet de thermosiphon) dans cette porcherie à toit en pignon.

fond suit la pente du toit. Les bâtiments sont bien isolés et l'air est aspiré au bas des murs et évacué à la partie supérieure à l'aide de panneaux à ajustement thermostatique ou manuel permettant de contrôler la température à l'intérieur du bâtiment. Ce type d'aménagement permet effectivement d'épargner l'énergie consacrée à la ventilation et semble bien convenir à l'élevage et l'engraissement des porcs lorsque la gestion de l'exploitation dépasse la moyenne. Bien que les étables aérées de façon naturelle semblent gagner la faveur populaire, il est peu probable que ce type d'installation remplace l'aération par ventilateurs dans les aires de mise bas et les couveuses. Dans les régions agricoles les plus froides du Canada, l'installation de ventilateurs d'évacuation et de systèmes de circulation d'air et de récupération de la chaleur peut être nécessaire en hiver.

Ventilateurs d'évacuation

Emplacement. Le choix de l'emplacement des ventilateurs d'évacuation, qui règlent l'échange d'air ou le débit de ventilation, comme nous l'avons déjà mentionné, n'est pas aussi important qu'on le prétend, sauf dans les bâtiments très longs; les vieilles étables laitières à deux étages dont les murs fissurés agissent comme entrées d'air; les bâtiments abritant des animaux de type ou de taille différents; ou les vieux bâtiments fissurés auxquels a été rajoutée une nouvelle section étanche.

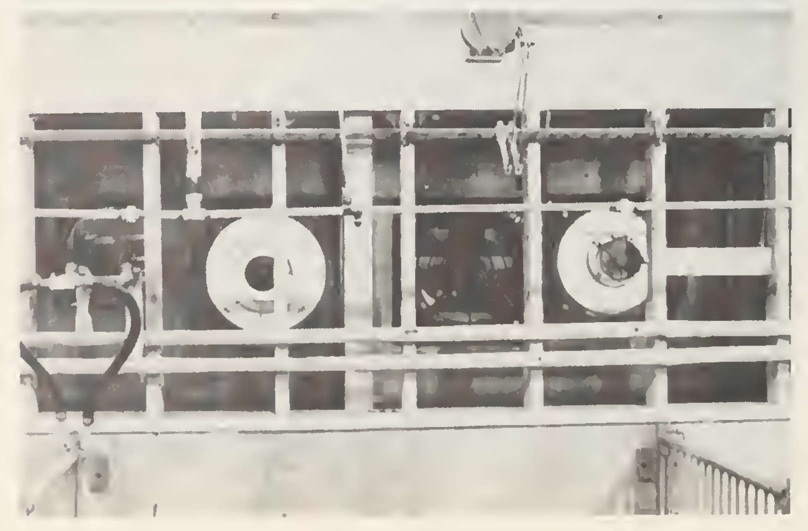
En gros, les ventilateurs d'évacuation ne font qu'aider l'air frais à entrer dans le bâtiment par toutes les ouvertures, qu'elles aient été pratiquées volontairement ou non. C'est donc le système d'admission d'air qui détermine la distribution de l'air neuf à l'intérieur du bâtiment et non l'endroit où les ventilateurs sont placés.

Dans le cas des bâtiments de plus de 30 m de longueur, il est préférable d'espacer les ventilateurs par groupe de deux ou trois pour réduire la concentration d'air vicié au même endroit dans la pièce. Cela est particulièrement important dans les bâtiments ventilés toute l'année, surtout lorsqu'il fait très chaud. Cependant, de petits ventilateurs devraient être installés parallèlement aux gros afin d'assurer une souplesse maximale dans le réglage du débit à un coût d'installation minimal et de permettre l'utilisation de quelques ventilateurs à grande puissance, dont le rendement énergétique est supérieur. Le système de prise d'air doit alors être bien conçu et bien réglé dans tout le bâtiment pour assurer une bonne distribution de l'air frais.

Lorsque les ventilateurs sont installés en groupes dans un compartiment spécial (pour des raisons de sécurité et pour faciliter l'entretien), il est essentiel que l'ouverture pratiquée dans le mur soit suffisamment large pour réduire les pertes d'air par friction lorsque l'air ambiant y est aspiré (fig. 18). Contrairement à ce que l'on pourrait croire, un ventilateur d'évacuation monté dans le mur ne crée pas un fort déplacement d'air dans le bâtiment; ce n'est qu'à l'extérieur, en aval du ventilateur, que l'air est projeté avec violence.

Dans les vieilles étables laitières à deux étages dont l'aération provient, en hiver, des fentes autour des fenêtres, des portes, des sorties de gouttières et audessus de la plaque, l'emplacement des ventilateurs d'évacuation peut être déterminant pour assurer une

Fig. 18 Cette ouverture pratiquée dans le mur est suffisamment grande pour permettre à l'air d'entrer librement dans les ventilateurs d'évacuation situés dans un compartiment spécial.



distribution d'air optimale. Les entrées d'air sont ici fondamentalement non réglables, mais on peut, bien sûr, sceller les fentes ou ajouter d'autres entrées au besoin pour permettre, par exemple, de placer les ventilateurs loin de la salle à lait et, autant que possible, pour ne pas les diriger vers la résidence.

Les bâtiments abritant des animaux de type ou de taille différents dans le même espace présentent un problème unique qui devrait, dans la mesure du possible, être résolu par une compartimentation de l'espace. De nombreux producteurs laitiers logent, par exemple, une partie ou l'ensemble de leurs animaux de remplacement à une extrémité de l'étable.

Leur première réaction consiste à installer le ventilateur d'hiver (contrôle de l'humidité) au-dessus de ces jeunes animaux, qui se trouvent souvent sur un lit de fumier, dans l'espoir que la chaleur émise par les vaches adultes réchauffera les veaux. En fait, l'air provenant de la section des vaches adultes contient déjà 75 à 80 % d'humidité relative (HR) lorsqu'il arrive dans la section du bâtiment réservée aux jeunes animaux. Cette section est inévitablement plus froide de quelques degrés en raison des pertes de chaleur du bâtiment dans les coins et du plus faible pouvoir thermique des jeunes animaux. Lorsqu'il est refroidi, l'air vicié chargé d'humidité atteint presque 100 % de HR créant une condensation sur les surfaces froides et même quelquefois du brouillard. Cela ne constitue pas un bon milieu pour les jeunes animaux étant donné que l'air vicié provenant de la section des vaches peut également contenir des organismes pathogènes comme des bactéries et des virus. On pourrait alors spontanément être tenté de placer des radiateurs au-dessus des veaux, mais cela revient à réchauffer tout l'air de ventilation d'hiver juste avant son évacuation, ce qui ne constitue pas une utilisation très rationnelle de l'énergie ni de l'argent.

Il est préférable de placer le ventilateur d'évacuation près du centre de la partie réservée aux vaches adultes. La température est alors un peu plus fraîche dans la partie réservée aux veaux, mais l'air y est beaucoup plus sain. Il ne faut alors que peu de chaleur pour réchauffer l'air pénétrant dans la partie réservée aux veaux. Les jeunes animaux n'ont besoin que d'un milieu sec exempt de courants d'air qu'il est facile de leur procurer dans une pièce séparée ou dans de petits enclos.

Il peut y avoir des problèmes au niveau du choix de l'emplacement du ventilateur lorsqu'une annexe de construction étanche est ajoutée directement à un ancien bâtiment aux murs lézardés. La meilleure solution, qui n'est pas nécessairement la moins chère, consiste à sceller le vieux bâtiment en l'isolant et en le couvrant d'un revêtement, puis à y percer des entrées d'air en continu. Lorsque l'annexe est petite, on peut simplement placer au moins un ventilateur d'hiver à son extrémité et laisser les lézardes du vieux bâtiment servir d'entrées d'air. On peut également équiper la nouvelle annexe d'entrées d'air équivalentes aux lézardes de l'ancien bâtiment en utilisant un matériau poreux pour le toit. (voir publication n° 1714 d'Agriculture Canada *Stabulation entravée des bovins laitiers* pour les détails au sujet du principe des toits poreux).

Installation. On néglige souvent de bien installer les ventilateurs d'évacuation et de les ajuster au besoin. L'entrepreneur en construction fait le trou, l'électricien s'occupe du branchement et aucun des deux ne prend la responsabilité du rendement. Les ventilateurs peuvent être placés dans n'importe quel mur de l'étable, la paroi d'un logement de ventilateur ou au-dessus de la lisse, mais il faut quand même s'assurer qu'il y a suffisamment d'air qui y pénètre.

La plaque de montage du ventilateur doit être scellée et bien fixée à la paroi. Le débit réel de l'appareil peut en effet être réduit par des fuites d'air autour du ventilateur; ces fuites diminuent donc le rendement et l'efficacité du système et l'énergie est ainsi mal utilisée. Par ailleurs, ce qui est aussi grave, l'air froid peut s'introduire à l'intérieur, causer de la condensation et corroder le métal de la plaque de montage, ce qui se voit très fréquemment dans bien des étables.

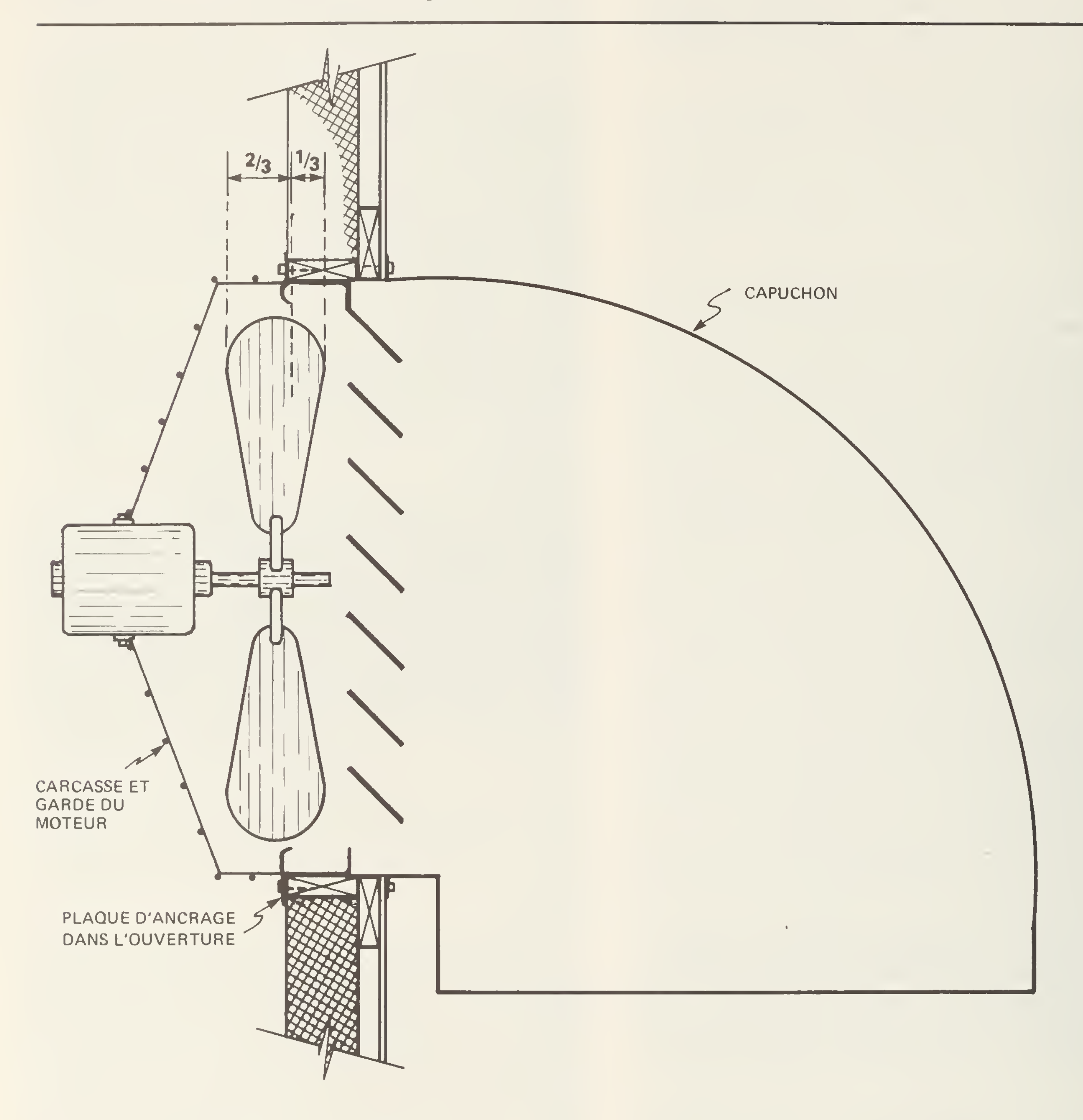
Il faut vérifier l'emplacement de l'aileron à la sortie du ventilateur, principalement dans le cas des gros ventilateurs à courroie dont les ailettes sont repoussées sur l'arbre pour empêcher qu'elles soient endommagées pendant le transport. Lorsque ces ailettes ne sont pas remises en place comme à la figure 19, le débit et l'efficacité du ventilateur sont considérablement réduits. Bien des systèmes de ventilation ne fonctionnent pas comme prévu à cause de cet oubli.

Les fils électriques du ventilateur doivent bien sûr être conformes au code local d'électricité, mais il peut être profitable de les remplacer par des conducteurs d'un calibre supérieur au calibre minimum afin d'accroître l'efficacité du ventilateur et la durée du moteur. Lorsque les conducteurs sont surchargés, le voltage du moteur est réduit. Le moteur cherche alors à compenser cette faiblesse en tirant plus de courant. Cette surcharge chauffe les fils, ce qui constitue un gaspillage d'énergie.

Il est préférable de faire fonctionner les moteurs de ventilateurs à 240 V (volts) plutôt qu'à 120 V; cela permet de réduire le courant (l'ampérage) de 50 % tout en fournissant la même puissance. Un courant plus faible entraîne des pertes par les fils moins élevées et une moins grande chute de tension dans les conducteurs. Plus les ventilateurs sont éloignés du panneau de commande, plus la chute de tension est importante.

Capuchons et persiennes. La plupart des ventilateurs d'évacuation agricoles sont munis de persiennes, registres qui empêchent les retours d'air (fig. 19). Ces persiennes empêchent l'air extérieur d'entrer par le ventilateur lorsque celui-ci ne fonctionne pas. Cela est très important pour tous les ventilateurs qui ne fonctionnent pas continuellement. Lorsque le système d'évacuation est bien conçu et que le bâtiment est occupé au complet, il faut enlever ces persiennes (ou ne pas les acheter) pour les ventilateurs fonctionnant continuellement, à condition qu'ils soient munis d'un capuchon approprié. Les persiennes actionnées par gravité ajoutent à la pression statique de fonctionnement du ventilateur et en réduisent l'efficacité. Elles exigent également beaucoup d'entretien. Huffman et Pegg (1981) ont observé que ces persiennes expli-

Fig. 19 Lors de l'installation de nouveaux ventilateurs ou du remplacement des moteurs, il faut voir à placer les ailettes dans l'ouverture de façon à assurer un rendement optimal et une utilisation efficace de l'énergie.

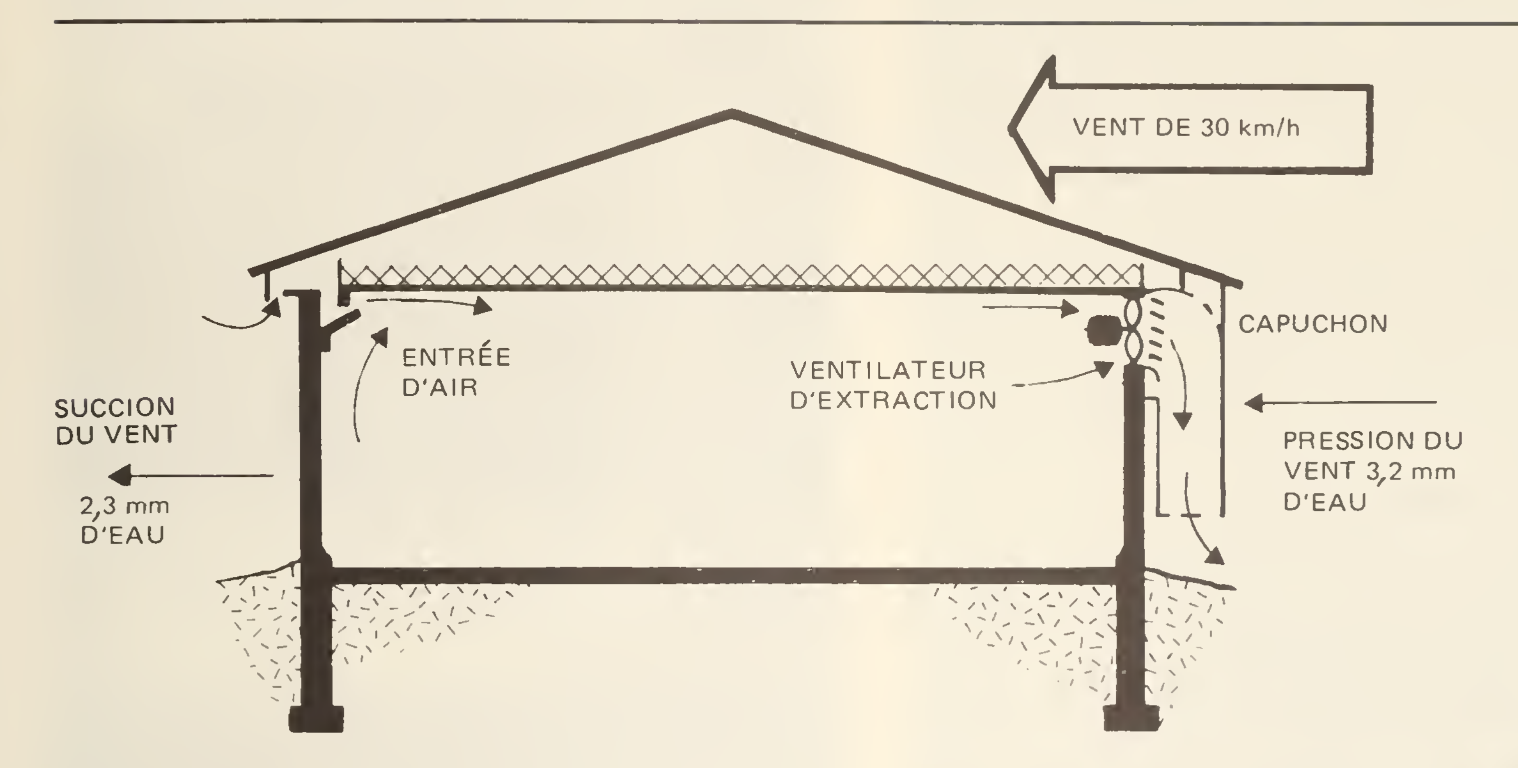


quaient jusqu'à 50 % de la différence entre le débit mesuré et le débit nominal de ventilateurs 2 vitesses de 450 mm, fonctionnant à faible vitesse. Leurs essais portaient sur de nouveaux ventilateurs munis de persiennes propres et libres. D'autres essais, comme ceux de Person (1977), mentionnent des réductions de débit encore plus prononcées à mesure que les persiennes et les charnières s'encrassent.

Les ventilateurs à faible débit et à fonctionnement continu sont ceux dont les persiennes s'encrassent le plus rapidement étant donné qu'ils expulsent surtout de l'air humide chargé de poussière.

Tous les ventilateurs d'évacuation doivent être adéquatement recouverts d'un capuchon pour les protéger contre le vent; ce capuchon peut cependant augmenter la pression statique de fonctionnement. Plus la pression statique est élevée, plus le ventilateur doit forcer pour évacuer l'air et moins le débit est important. La figure 20 illustre les effets de la pression d'un vent de 30 km/h soufflant directement sur le côté du bâtiment où est expulsé l'air. Si le ventilateur évacue l'air directement dans le vent sans capuchon protecteur, il doit fournir une poussée statique d'eau de 3,2 mm seulement pour ouvrir les persiennes. Un autre 2,3 mm d'aspiration d'eau doit être fourni pour faire entrer l'air dans les fentes percées dans le mur sous le vent. Ainsi, la pression totale à l'entrée du ventilateur (sans capuchon) est de 2,3 (aspiration sous le vent) + 1,3 (à l'entrée d'air) + 3,2 (évacuation au vent) = 6,8 mm d'eau (67 Pa); cela approche dangereusement le point où bien des ventilateurs ne peuvent plus déplacer l'air. De plus, la pression du vent augmente

Fig. 20 Pression exercée par un vent dominant sur un ventilateur d'évacuation.



au carré de la vitesse du vent; un vent de 60 km/h développe une pression quatre fois plus grande qu'un vent de 30 km/h.

Au lieu d'installer des capuchons, certains seraient tentés, mais à tort, de placer les ventilateurs sur le mur sous le vent. Malheureusement, le vent peut souffler dans toutes les directions et le mur sous le vent aujourd'hui peut être au vent demain.

Une partie de la solution consiste à munir toutes les prises et les sorties d'air de capuchons pour permettre à l'air d'entrer et de sortir du bâtiment à la verticale (perpendiculairement au vent). Les capuchons doivent être tournés à 90° vers le bas, comme dans l'illustration de la figure 20, et peuvent être prolongés au-delà de la mi-hauteur du mur. Les effets du vent peuvent aussi être considérablement réduits en plaçant le capuchon à environ 100 mm du mur, comme l'illustrent les figures 19 et 21; il peut alors n'être prolongé que de 150 mm sous l'ouverture du ventilateur. Ces deux types de capuchons peuvent également être utilisés pour les prises d'air percées dans le mur. Le second point important est d'assurer que tous les capuchons ont une superficie suffisante pour prévenir la contrepression (ou les pertes de pression, lorsqu'ils sont placés sur des prises d'air). La figure 22 montre un capuchon servant pour trois ventilateurs incorporés dans un même logement extérieur. Les fabricants de ventilateurs ne fournissent pas tous des capuchons. Dans bien des cas, un entrepreneur en construction peut en construire à partir du surplomb du toit, mais il faut alors fournir les spécifications exactes.

Entretien des ventilateurs.

Les persiennes, qui se salissent, s'engluent ou se brisent, nécessitent le plus d'entretien. Ces persiennes sont en effet constamment en contact avec de l'air humide chargé de poussière, d'un côté, et de l'air froid, de l'autre, ce qui provoque de la condensation et favorise l'encrassement. Elles deviennent ainsi de plus en plus lourdes et leurs charnières s'encrassent. Des persiennes encrassées peuvent réduire considérablement le débit des petits ventilateurs d'hiver à faible vitesse. Elles doivent donc être lavées à pression ou brossées régulièrement. Les charnières doivent également être décrassées.



Fig. 21 Capuchon de ventilateur ou de prise d'air bien conçu, faisant un coude de 90 ° et éloigné d'au moins 100 mm du mur.

On peut placer des grilles à la sortie des capuchons de ventilateurs, tel qu'illustré à la figure 23, mais il faut alors les nettoyer régulièrement, sinon elles constituent plus un inconvénient qu'un avantage.

Le moteur et les pales des ventilateurs doivent également être nettoyé (fig. 24). La poussière collée

aux pales influe peu sur le débit de l'air, mais peut entraîner un déséquilibre, des vibrations et même une panne du ventilateur. Un moteur encrassé réduit l'efficacité du ventilateur en le surchauffant étant donné que tous les moteurs sont scellés et refroidis par circulation d'air en surface. La poussière, faisant fonction d'isolant, provoque le surchauffage et diminue ainsi la durée utile du moteur.

La tension des courroies des ventilateurs à grand diamètre doit être vérifiée régulièrement. Une courroie trop lâche diminue le débit et le rendement énergétique du moteur; une courroie trop serrée surmène le palier et peut surchauffer et briser le moteur.

Contrôles thermostatiques

Pourquoi contrôler la température plutôt que l'humidité?

Les ventilateurs d'évacuation d'air et les chauffrettes sont généralement actionnés par des contrôles thermostatiques qui réagissent seulement à la température. On utilise des thermostats pour l'équipement de chauffage et les ventilateurs d'évacuation à une ou plusieurs vitesses, et des sondes thermométriques pour les ventilateurs à vitesse variable. Ces contrôles sont installés de façon que les ventilateurs partent ou accélèrent en fonction de l'augmentation de la température. Réciproquement, la plupart de ces thermostats peuvent être réglés de façon à démarrer l'équipement de chauffage lorsque la température baisse au-dessous du point de consigne.

Lorsque les ventilateurs fonctionnent au-dessous de la température critique, leur débit est déterminé en fonction de l'évacuation nécessaire de l'humidité (pour limiter l'humidité relative maximale à l'intérieur du bâtiment); il semblerait donc plus approprié d'utiliser un humidistat pour régler la ventilation. Malheureusement, les humidistats commerciaux n'ont pas un rendement satisfaisant à long terme étant donné que leurs capteurs d'humidité s'encrassent et se dérèglent assez rapidement. Il n'est pas acceptable pour les éleveurs de se plier aux tâches délicates et astreignantes du nettoyage des humidistats. Lorsqu'ils sont encrassés, les humidistats peuvent provoquer une surventilation ou une sous-ventilation grave de telle sorte qu'il faut habituellement installer quand même des thermostats en cas de défaillance pour empêcher le gel. Cela ne fait qu'ajouter au coût de l'ensemble des contrôles.

Lorsque le débit de ventilation est presque idéal, après avoir mis en place les ventilateurs d'évacuation nécessaires, la ventilation peut être facilement contrôlée grâce à l'utilisation de contrôles thermostatiques, même en hiver, à condition que l'équipement de chauffage ait la puissance nécessaire.

La production de chaleur et d'humidité par les animaux ou les volailles dépend grandement de leur activité ainsi que d'autres facteurs de construction et de gestion du bâtiment. Le tracé fait par un hygrothermographe (instrument pour enregistrer la température et l'humidité relative) placé dans un enclos de sevrage en janvier montre (fig. 25) les importantes fluctuations d'humidité relative à cette époque de l'année. Les lumières, allumées pour les repas (7 h), provoquent un accroissement significatif de l'activité et la production d'humidité, ce qui se traduit sous forme d'humidité relative. À 18 h, l'humidité relative diminue lorsque les porcelets sont laissés dans l'obscurité. Le système de ventilation bien conçu et actionné par des contrôles thermostatiques a pu tenir l'humidité relative (HR) en tout temps au-dessous du point critique de 80 %. Les cycles de température indiqués à la figure 25 sont attribuables au système de chauffage trop puissant.

En été, le débit de ventilation est régi par la température; c'est pourquoi le choix de contrôles thermostatiques s'impose.



Fig. 22 Capuchon bien conçu pour logement extérieur de ventilateurs; l'entretien du ventilateur est facilité grâce à la porte qui permet d'y accéder directement.

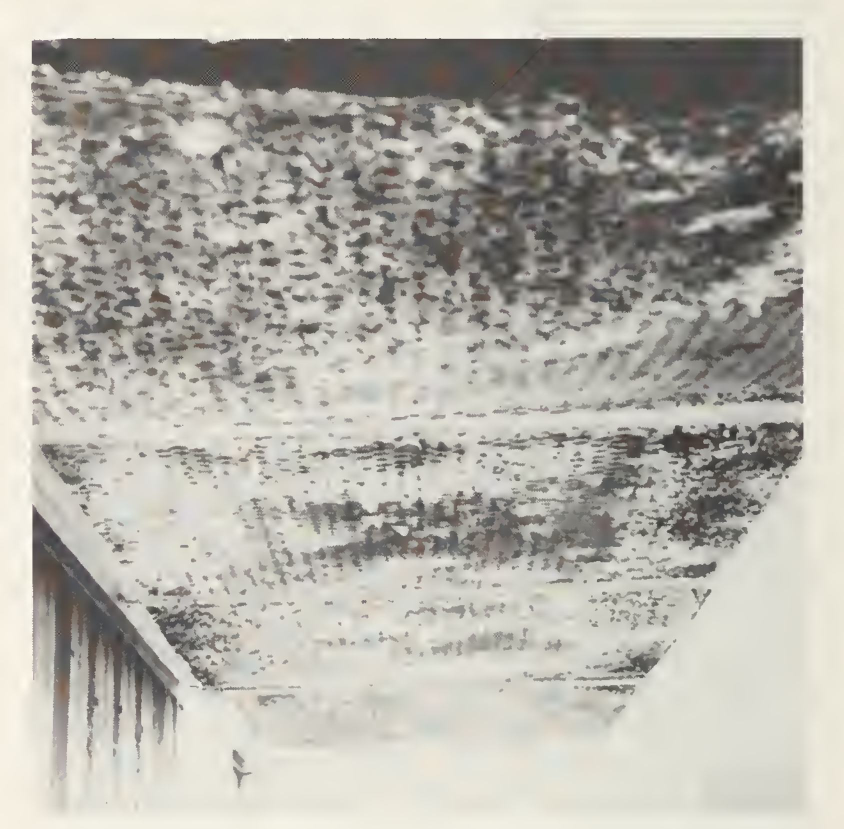
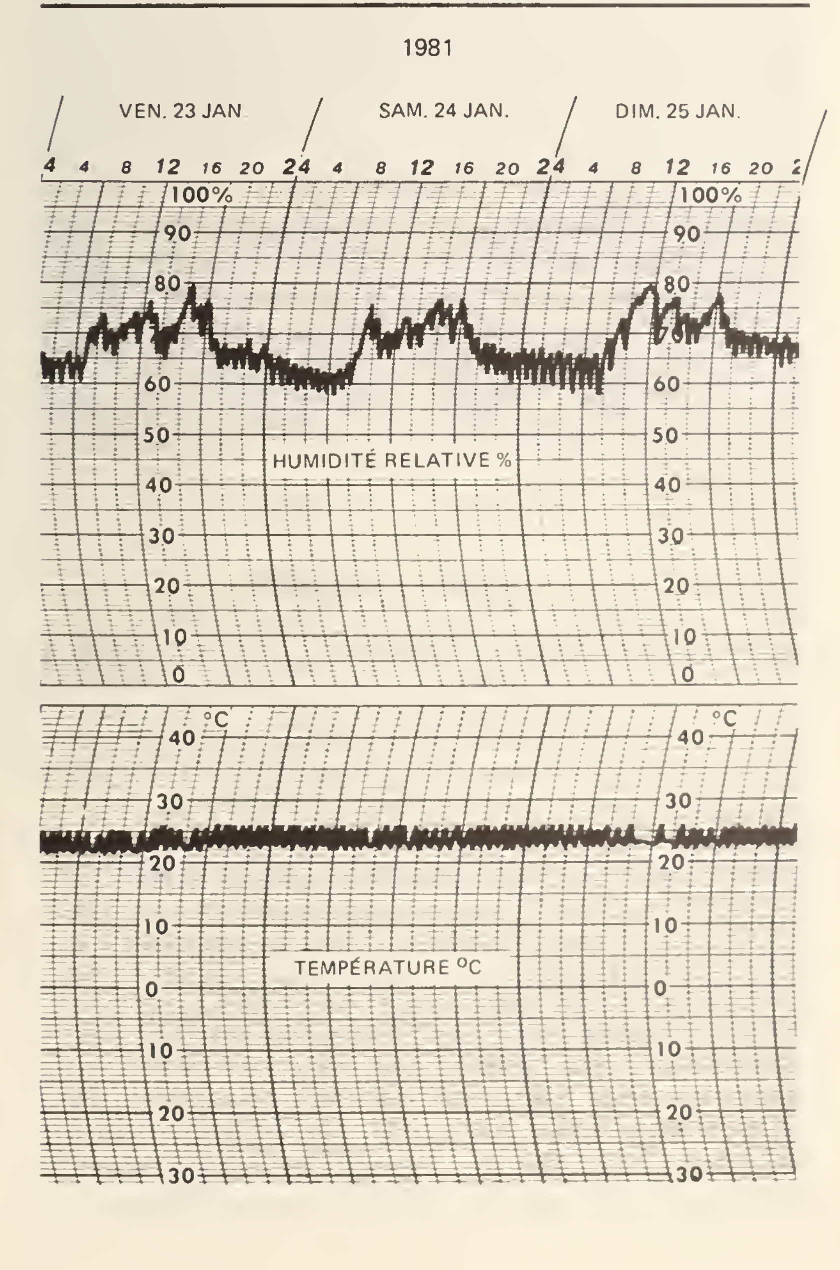


Fig. 23 Les grilles servant à protéger les capuchons de ventilateurs ne font qu'accroître les exigences en matière d'entretien du système.



Fig. 24 Le moteur, les pales et les persiennes des ventilateurs doivent être nettoyés régulièrement pour assurer l'efficacité du système.

Fig. 25 Relevé continu de la température et de l'humidité relative dans un enclos de sevrage dont la ventilation et le chauffage sont régis par des contrôles thermostatiques.



Emplacement des contrôles thermostatiques.

De nombreux thermostats ou senseurs sont fixés sur de grandes planches de contre-plaqué perpendiculaires à l'écoulement de l'air dans le bâtiment ou directement sur une poutre ou au plafond, hors du chemin suivi par l'air (fig. 26). Ainsi en retrait, les contrôles thermostatiques ne peuvent enregistrer la température moyenne qu'ils doivent contrôler à l'intérieur du bâtiment. Dans les deux premiers cas, les contrôles se trouvent à des points morts et peuvent ainsi causer une surventilation, c'est-à-dire un gaspillage d'énergie. Dans le troisième cas (contrôle au plafond), ils peuvent entraîner une sous-ventilation en raison de la conduction de la chaleur par le plafond froid ou du courant d'air froid provenant de l'entrée d'air. Les contrôles placés à ces endroits donnent un milieu ambiant loin d'être idéal et entraînent souvent des coûts énergétiques élevés.

Les contrôles thermostatiques doivent pouvoir enregistrer une température représentative de l'air. Ils doivent donc idéalement être suspendus au plafond au moyen d'une suspension souple (fig. 27) de façon à pouvoir se déplacer lorsqu'ils sont heurtés. Les senseurs doivent se prolonger un peu plus bas que leur support (fig. 28) lorsque celui-ci est placé au-dessus d'une cloison séparant les enclos. Lorsque les thermostats sont fixés à un panneau de contre-plaqué, celui-ci doit être parallèle à l'écoulement de l'air (fig. 29) et, si possible, au-dessus d'une cloison, pour ne pas être heurté par l'éleveur ou les animaux.

Les contrôles thermostatiques doivent être placés à un endroit où l'air est bien mélangé, à peu près à mi-chemin entre les entrées d'air et les bouches d'évacuation afin d'enregistrer les températures moyennes. L'utilisation de chauffrettes électriques à thermostat intégré peut poser certains problèmes. Les radiateurs doivent en effet être situés près d'une entrée d'air pour diriger la chaleur dans l'air froid entrant et leur thermostat doit être placé avec les thermostats de ventilation ou couplé à l'un d'eux.

Fig. 26 Les capteurs de contrôles thermostatiques ne doivent pas être placés à l'abri de l'écoulement d'air dans le bâtiment.





Fig. 27 Ces contrôles thermostatiques sont placés au centre de la salle au moyen d'une suspension souple qui prévient les risques d'endommagement.

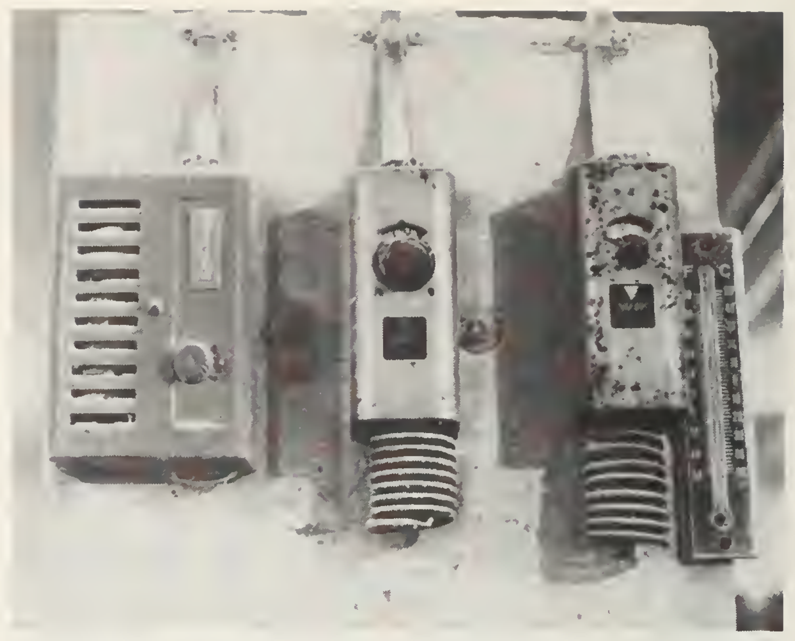


Fig. 29 Les panneaux auxquels sont fixés les capteurs des contrôles thermostatiques doivent être installés parallèlement à l'écoulement de l'air.

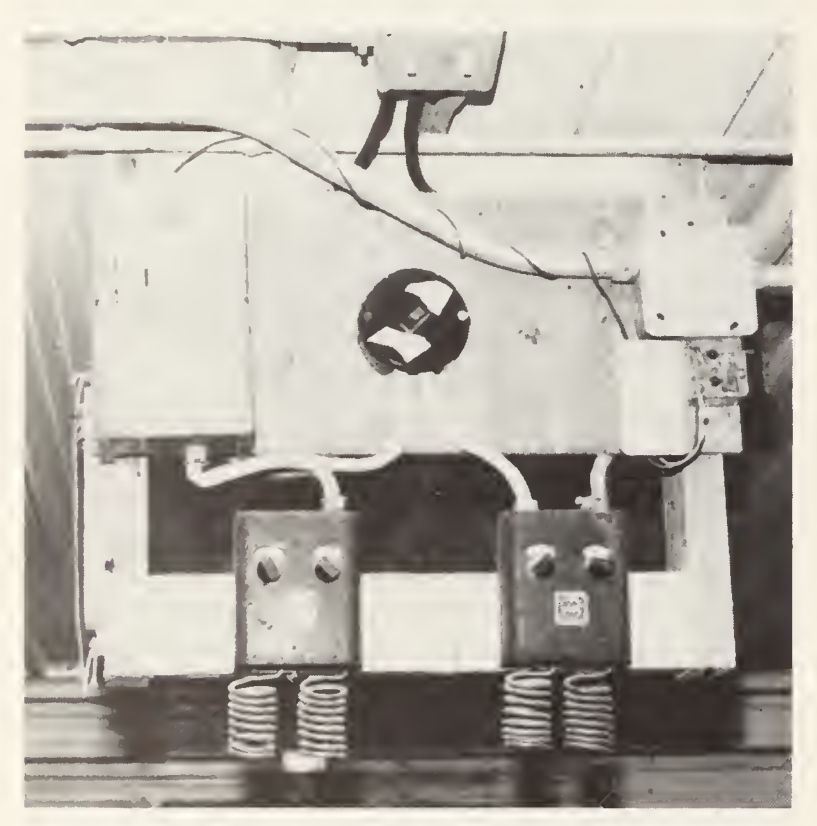


Fig. 28 Les capteurs des contrôles peuvent se prolonger sous leur support s'ils se trouvent au-dessus de la cloison d'un enclos.

Étalonnage des contrôles thermostatiques. Bien des contrôles, même les nouveaux, ont une imprécision d'au moins 2 °C. Cela signifie qu'ils peuvent démarrer le ventilateur ou l'appareil de chauffage trop tôt ou trop tard lorsqu'ils sont réglés selon leur cadran. Cela peut avoir de graves répercussions en hiver lorsqu'il faut chauffer le bâtiment. Par exemple, lorsqu'un ventilateur d'évacuation supplémentaire démarre trop tôt, les radiateurs peuvent continuer à fonctionner inutilement à cause du refroidissement de l'air ainsi provoqué. Ce chevauchement entraîne une perte d'énergie aussi bien pour chauffer que pour ventiler le bâtiment.

Un bon thermomètre est donc un bon investissement (fig. 30). L'idéal est de placer ce thermomètre avec les thermostats (fig. 29). Cela permet à l'exploitant de vérifier la température réelle de l'air lorsque le ventilateur ou le radiateur démarre. Si le contrôle thermostatique est mal étalonné, il peut ainsi être réglé et l'écart noté en vue de tout réglage ultérieur. Il est inutile de le remplacer si l'écart demeure constant. Il suffit alors de le placer au bon endroit et de le nettoyer régulièrement pour ne plus avoir de problèmes.

Entretien des contrôles thermostatiques. Lorsque la poussière s'accumule sur les senseurs d'un thermostat, celui-ci fonctionne avec moins d'efficacité. Les thermostats de la figure 31 doivent être nettoyés. La poussière accumulée agit comme isolant et retarde la réaction du contrôle; cela peut entraîner des effets plus graves sur l'environnement et la facture énergétique qu'un contrôle mal étalonné. Le nettoyage peut se faire à l'aide d'un simple chiffon ou d'un jet d'air lorsque les contrôles se trouvent là où ils doivent être, c'est-à-dire au niveau des yeux de l'éleveur.

Vérification du milieu ambiant

Il existe un certain nombre d'essais pour vérifier l'efficacité de la ventilation et le rendement énergétique des appareils à l'intérieur d'un bâtiment à ambiance contrôlée. Certains sont simples, d'autres plus complexes.

Essai à la fumée. Avant de loger les animaux ou les volailles dans de nouveaux locaux, on a souvent recours à un essai à la fumée pour déceler les problèmes éventuels. L'introduction d'une «fumée» chimique dans la salle (fig. 32) permet de suivre le cheminement de l'air et de déceler les points morts et les courants d'air. La plupart de ces problèmes peuvent être corrigés, et souvent à peu de frais, évitant ainsi que les animaux soient perturbés. Dans certains cas, il suffit à l'éleveur d'apprendre à régler correctement son



Fig. 30 Un bon thermomètre coûte très peu et permet de vérifier l'étalonnage des contrôles thermostatiques.



Fig. 32 En se servant de ce générateur commercial de fumée, il est facile de suivre le cheminement de l'air.

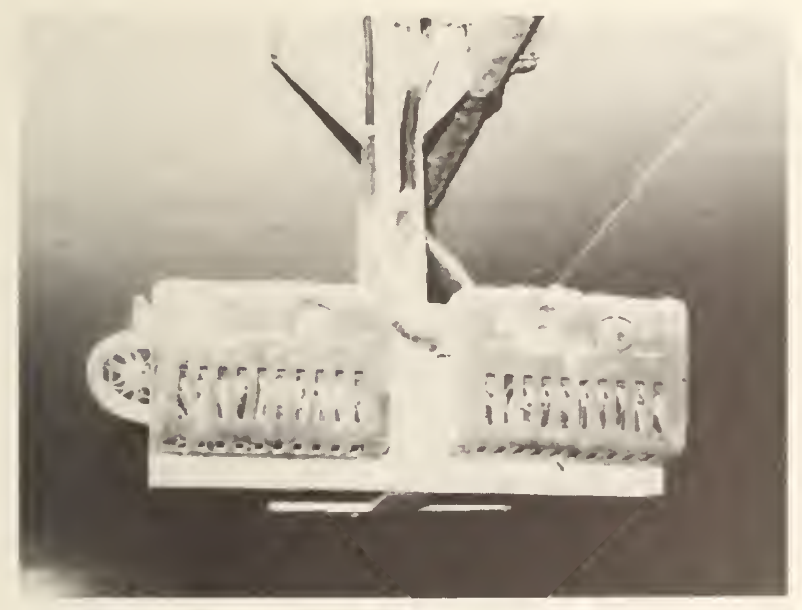


Fig. 31 Les capteurs des contrôles thermostatiques doivent être nettoyés régulièrement avec un linge ou un jet d'air pour demeurer en bon état de marche.

système d'entrées d'air pour obtenir l'écoulement désiré. Dans d'autres cas, les prises d'air doivent être modifiées et agrandies, de préférence avant de payer l'entrepreneur en construction.

Les fils électriques, lampes ou autres obstacles situés trop près des entrées d'air constituent un autre problème qui peut survenir. La figure 33 montre des tuyaux qui ont été suspendus à une certaine distance du plafond pour éviter de perturber l'écoulement de l'air entrant dans le bâtiment. Les tuyaux fixés directement au plafond devant les entrées d'air peuvent causer deux problèmes en hiver: l'air froid est dévié vers le bas créant ainsi des courants d'air, et l'eau peut geler dans les tuyaux.

Vous pouvez toujours vous faire aider dans vos essais à la fumée par les fournisseurs d'équipement de ventilation, les spécialistes provinciaux en génie agricole, le personnel des compagnies de services publics ou votre entrepreneur en construction.

Thermomètre à maximum et minimum. Tous les propriétaires de bâtiment à ambiance contrôlée devraient avoir un thermomètre à maximum et minimum (fig. 34). Ces thermomètres sont relativement bon marché et indiquent les températures maximales et minimales pour une période donnée dans une pièce à ambiance contrôlée. Souvent ce cycle de température permet de détecter un mauvais fonctionnement de l'équipement de chauffage, un problème au niveau du contrôle thermostatique ou une interruption de la ventilation. La figure 35 montre un tracé d'hygrothermographe et ce qui arrive au contrôle de la température et de l'humidité relative lorsqu'une chauffrette électrique couverte de poussière a été arrêté à plusieurs reprises par son thermostat de limite supérieure. Un thermomètre à maximum et minimum permet également de déceler ce genre de problème.

Les exploitants agricoles peuvent maintenant se procurer ces thermomètres chez les concessionnaires d'équipements de ventilation, les représentants de compagnies d'aliments pour animaux et autres marchands spécialisés.

Mesure de la qualité de l'air. Face à des problèmes persistants d'odeur et de gaz, il vaut mieux obtenir l'aide de professionnels. On peut habituellement se procurer des trousses de détection, de l'ammoniac, du sulfure d'hydrogène, du bioxyde de carbone et du méthane auprès des ministères provinciaux de l'agriculture ou tout autre organisme spécialisé dans l'évaluation de la qualité de l'air. Les résultats de ces essais permettent souvent de déterminer avec précision l'origine du problème qui peut être au

niveau du système de contrôle ou de la gestion comme dans le cas d'une alimentation impropre des animaux ou d'une mauvaise qualité de l'eau.

Ce genre d'essai a amené des changements dans la conception des systèmes de contrôle d'ambiance. Par exemple, lorsque du fumier liquide ou semi-liquide est stocké sous les animaux, il est recommandé d'aspirer l'air de ventilation continue vers le bas et de l'expulser au dehors afin d'éliminer les gaz le plus vite possible, au moins en hiver. Une autre solution consiste à déplacer plus d'air qu'il n'en faut simplement pour diluer les gaz. Cette solution entraîne cependant un gaspillage d'énergie à la fois au niveau des radiateurs et des ventilateurs et ne devrait être adoptée que lorsqu'il n'existe pas d'autres solutions plus pratiques.

Mesure de la vitesse de l'air. En hiver, lorsque le milieu est à sa température minimale, l'air ne doit se déplacer qu'à très faible vitesse au niveau des animaux. Cependant, comme nous l'avons déjà dit, l'air qui entre dans le bâtiment doit se déplacer rapidement afin qu'il y ait mélange. Le manomètre incliné (fig. 8) constitue un bon indicateur de la vitesse de l'air aux entrées d'air de type «à fentes». Les commandes automatiques d'entrée d'air font appel au même genre de mesure de différence de pression.

Cependant, les courants d'air créés par les obstacles qui empêchent l'air de circuler librement peuvent être mesurés efficacement par des mesureurs de vitesse (vélomètres) ou en observant les animaux ou les volailles. Si par exemple les porcelets s'entassent, leurs têtes faisant face à l'intérieur du bâtiment, c'est qu'ils ont trop froid. Des températures continuellement basses ou des courants d'air persistants entraînent, chez ces animaux, la formation d'un pelage épais, rugueux et ébouriffé. Pour leur part, dans les mêmes conditions, les jeunes veaux auront des troubles respiratoires fréquents.

Les jeunes animaux ou les jeunes volailles montrent généralement qu'ils ont chaud et qu'ils sont con-

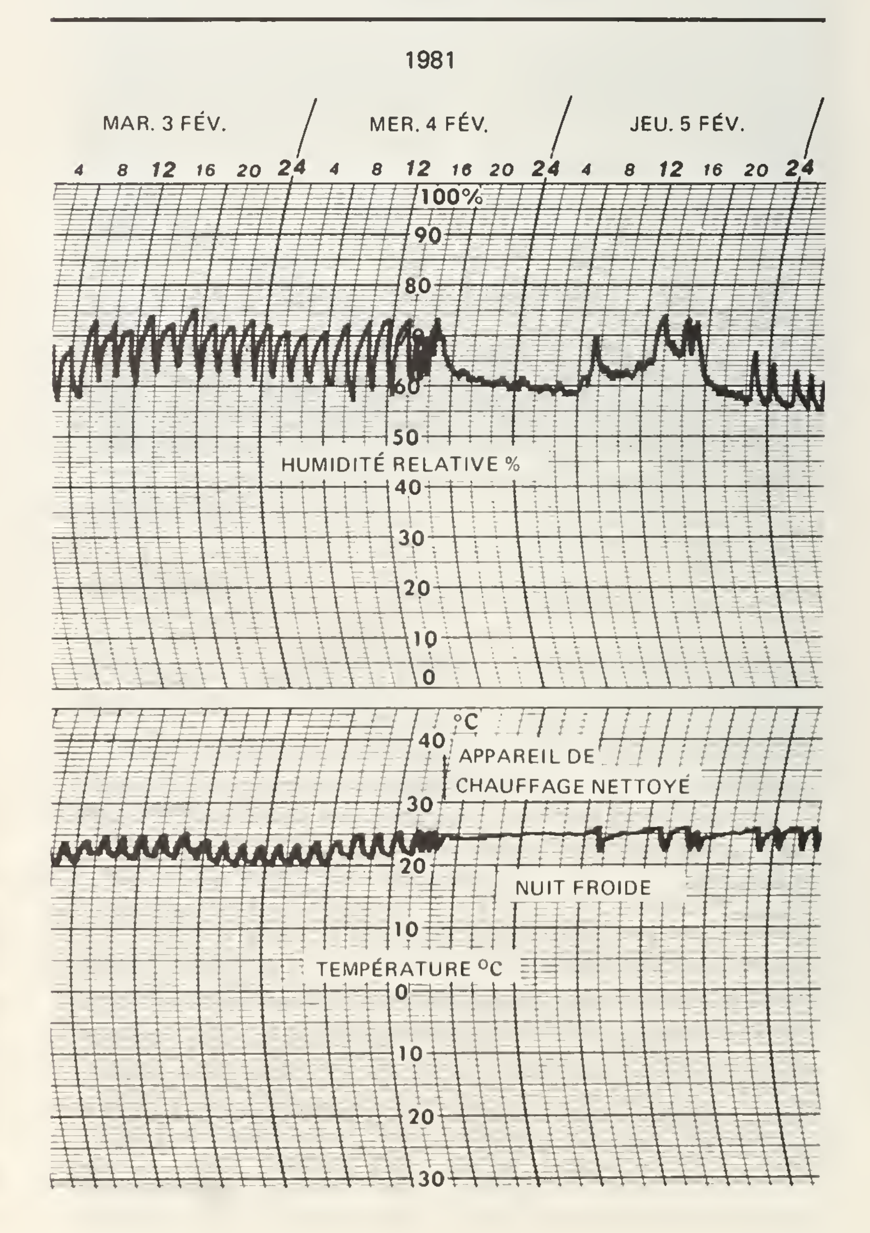
Fig. 33 Les tuyaux d'eau chaude ont été suspendus au plafond pour éviter de perturber l'écoulement de l'air entrant par la bouche d'air centrale.





Fig. 34 Le thermomètre à maximum et minimum, à droite, indique à l'éleveur les températures extrêmes au cours d'une période donnée dans cette pièce à ambiance contrôlée.

Fig. 35 Remarquer, à gauche, le tracé accentué de la température et de l'humidité relative que l'on obtient avec un appareil de chauffage encrassé.



fortables en s'éparpillant, la tête tournée en direction opposée de la source de chaleur, un radiateur, par exemple. Un éleveur observateur n'a pas besoin d'équipement perfectionné pour mesurer la vitesse de l'air et déceler les courants d'air en hiver.

En été, il est préférable que l'air se déplace rapidement juste au-dessus des gros animaux ou des volailles pour assurer leur confort et les soulager de la chaleur. Il est donc important en été de pouvoir diriger l'air frais directement sur les animaux ou les volailles, c'est-à-dire d'avoir un système d'admission d'air équipé d'un dispositif permettant d'orienter le flux d'air frais.

Sojak et Morris (1982) ont mis au point un système central d'entrée d'air à double fentes, fixé au plafond, qui permet de dévier l'air vers le bas manuellement ou automatiquement. On peut voir, à la figure 36, une photographie du système central d'entrée d'air, avec son isolation. La figure 37 montre les volets réglables fixés des deux côtés de l'entrée d'air centrale. Lorsque les volets sont vers le haut, l'air frais est dirigé parallèlement au plafond; lorsqu'ils sont tournés vers le bas, l'air très chaud de l'été peut être redirigé sur les animaux ou les volailles pour faire l'effet d'une brise.

De nombreux exploitants de systèmes à ambiance contrôlée essaient de créer un effet de brise en augmentant la capacité du ventilateur ou en ouvrant les portes du bâtiment. Augmenter outre mesure la capacité du ventilateur entraîne une dépense inutile d'électricité, une surcharge du système de prise d'air et l'obligation d'ouvrir certaines portes.

S'il n'y a que deux portes, soit une à chaque extrémité du bâtiment, pour compléter le système de ventilation, seuls les animaux près des entrées seront à l'aise, tandis que les autres recevront très peu d'air frais étant donné que le système d'entrée d'air ne fonctionnera plus de façon efficace. Comme l'eau courante, l'air prend le chemin qui oppose le moins de résistance, c'est-à-dire de la porte ouverte jusqu'au ventilateur d'extraction.



Fig. 36 La prise d'air peut consister en une chambre isolée de distribution d'air située au grenier qui alimente l'entrée d'air centrale.





Fig. 37 Les volets réglables de chaque côté de cette entrée d'air centrale peuvent diriger l'air parallèlement au plafond uni en hiver ou directement sur les animaux ou les volailles en été.

Réglage de la température en fonction des animaux et non de l'éleveur

Températures minimales à l'intérieur des bâtiments en hiver. En hiver, les températures minimales à l'intérieur du bâtiment doivent être réglées en fonction du confort et de la productivité des animaux ou des volailles et non en fonction de l'éleveur, qui passe très peu de temps dans ce bâtiment. Lorsque cela est possible, on peut maintenir une température peu élevée à l'intérieur du bâtiment pour économiser l'énergie nécessaire à la production de chaleur supplémentaire et augmenter le débit de ventilation, fournissant ainsi de l'air propre et frais. C'est le cas pour bien des locaux abritant du bétail.

Radiateurs. Il est préférable d'utiliser des radiateurs pour hausser la température ambiante. Les radiateurs peuvent être une source de chaleur ponctuelle pour les animaux ou les volailles très jeunes et leur permettre de choisir leur propre niveau de confort (fig. 38). Les radiateurs permettent aussi à l'opérateur d'utiliser un dispositif de chauffage de moins forte puissance, ex. une lampe chauffante de 125 watts plutôt que 250 watts, ou tout simplement réduire la puissance des contrôles, si la mise bas, l'allaitement ou la couvaison ont lieu par temps chaud.

L'utilisation de radiateurs, de préférence couplée à l'aménagement de pondoirs ou d'abris semi-enclos, permet d'abaisser la température à l'intérieur du bâtiment et de réduire ainsi les pertes de chaleur par les murs, le plafond, etc. étant donné que celles-ci sont fonction de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur. Cette solution permet également d'économiser de l'énergie.

Outre l'avantage direct de l'économie d'énergie, le fait de maintenir la porcherie de maternité à basse température améliore le confort des truies, habituées à une température plus basse lors de la gestation. Parallèlement, les radiateurs attirent les porcelets et

les éloignent de leur mère lorsque celle-ci ne les allaite pas, ce qui permet de réduire les accidents et la mortalité.

Équipement de chauffage supplémentaire

Choix d'un système. Il existe divers systèmes pour chauffer l'air à l'intérieur d'un bâtiment. Les deux plus courants sont les chauffrettes à air poussé (aérothermes) et les radiateurs à eau chaude faits d'un tuyau noir avec ou sans ailettes. Il y a deux facteurs essentiels: 1) le système doit distribuer la chaleur uniformément, de préférence le long du système d'entrée d'air. L'équipement de recirculation de l'air est quelquefois utilisé pour améliorer la répartition de la chaleur, particulièrement dans les pièces à faible débit d'aération. 2) La partie exposée du système, au milieu des animaux ou des volailles, doit être facile à nettoyer et ne présenter aucun risque d'incendie.

Toutes les sources classiques d'énergie (gaz naturel, GPL, pétrole et électricité) ainsi que les combustibles renouvelables (paille, épi de maïs, bois, etc.) peuvent être utilisées pour produire de l'eau chaude. Le thermostat du bâtiment contrôle généralement la pompe circulatrice tandis qu'un autre thermostat contrôle la température de l'eau dans le système de chauffage. Lorsqu'ils sont bien conçus, ces systèmes de chauffage fonctionnent bien, mais coûtent relativement cher à installer. Il existe cependant un certain risque d'endommagement par le gel si le système est fermé en hiver, entre deux couvées de poulets à griller par exemple. L'utilisation d'une solution d'antigel ou la vidange complète du système ajoute au prix déjà élevé et à l'entretien du système.

On utilise également des appareils de chauffage direct fonctionnant au gaz naturel ou au GPL. Il faut se rappeler que ce type d'appareil ajoute de l'humidité à l'air et que cette humidité doit être éliminée en augmentant le débit minimal de ventilation d'hiver.

On utilise aussi des systèmes de chauffage à air poussé, mais ces appareils sont limités dans les milieux poussiéreux étant donné qu'ils nécessitent une recirculation de l'air. De grands filtres à air doivent être installés et entretenus régulièrement.

Un autre problème au niveau du rendement énergétique doit être mentionné, soit celui des systèmes de chauffage sous plancher par canalisations d'eau chaude ou par câbles électriques. Ces deux types de système de chauffage sont idéaux pour garder le plancher chaud dans les enclos de mise bas, les cages de sevrage ou les stalles de traite. De nombreux essais (généralement limités à un seul hiver) ont été faits pour chauffer les bâtiments avec ces systèmes. Trois problèmes sont apparus: 1) la superficie de plancher chauffé est généralement petite relativement à l'aire totale du bâtiment et la chaleur générale n'est suffisante que pour chauffer le plancher; 2) lorsque le plancher est assez chaud pour chauffer l'air d'une façon sensible, il est beaucoup trop chaud au contact pour les animaux; 3) la température élevée de la dalle de béton pousse la chaleur dans le sol sous le plancher



Fig. 38 La chaleur radiante fournit tout le confort nécessaire aux jeunes animaux ou volailles dans un bâtiment frais, économisant ainsi de l'énergie.

même si ce dernier est isolé. Surisoler le plancher rendrait l'endroit trop inconfortable pour que les animaux y dorment lorsqu'il fait très chaud l'été et ils pourraient réserver la partie chauffée à d'autres activités d'ordre domestiques.

En ce qui a trait aux aires réservées aux animaux, on peut utiliser si on le veut le chauffage sous plancher, mais seulement pour réchauffer ce dernier. Le chauffage des couveuses par le plancher a été utilisé avec succès surtout dans la région des Maritimes. Dans ce cas, la superficie de plancher chauffée est vaste. Aucune litière n'est utilisée puisqu'elle agirait comme isolant. On peut isoler le dessous de la dalle de béton étant donné que le confort des volailles en été ne dépend pas de la conduction de chaleur du plancher, comme c'est le cas pour les porcs.

Les chauffrettes électriques* sont largement utilisées dans de nombreux types d'abris pour animaux de faible superficie (salles de mise bas, de sevrage; enclos pour veaux etc.) qui nécessitent à divers degrés une chaleur supplémentaire. Les chauffrettes électriques (fig. 39) sont généralement suspendues près des coins du bâtiment et fixées de façon à diriger l'air chaud le long de l'entrée d'air ou, le cas échéant, directement dans l'équipement de recirculation d'air.

Le coût de l'achat et de l'installation de ces appareils est relativement faible. Ces appareils peuvent être facilement transportés au besoin pour chauffer une autre salle ou pour être nettoyés à l'air comprimé. Comme nous l'avons déjà mentionné, ils doivent être contrôlés par un thermostat indépendant (non incorporé) pour bien fonctionner et donner un bon rendement énergétique.

---

* Les chauffrettes électriques doivent se conformer à la «norme GX» pour être utilisées par les éleveurs dans certaines provinces.

Taille des appareils de chauffage. Le dicton «plus c'est gros, mieux c'est» ne convient pas du tout ici. Un appareil de chauffage trop gros dépense inutilement de l'énergie. Winfield et Turnbull (1980) ont démontré les effets nuisibles pour l'environnement de l'utilisation d'une chauffrette électrique de 4,8 kW dans une petite installation d'élevage de veaux. On peut voir, à la figure 40, que la température ambiante y a fluctué de 3 à 5 °C par rapport à la température désirée de 10 °C. Ces fluctuations sont régulières étant donné que la chauffrette trop grosse avait un cycle de 40 minutes. L'humidité relative baisse considérablement lorsque l'appareil fonctionne et augmente d'au moins 10 % lorsqu'il ne fonctionne pas. À cause de ces variations cycliques, les conditions sont loin d'être idéales pour les animaux.

Lorsque l'appareil a été remplacé par une chauffrette plus petite de 2 kW, la température ambiante est demeurée presque constante à 10 °C (fig. 41). L'humidité relative fluctuait quand même, mais sans dépasser le degré critique de 80 %. Les cycles étaient plus courts et moins fréquents. Même l'éleveur s'est rendu compte de l'amélioration des conditions.

L'effet produit par un appareil de chauffage trop puissant peut également se voir aux figures 25 et 35. À cause d'un échangeur de chaleur installé dans une cage de sevrage, le radiateur de 5 kW s'est révélé trop puissant et démarrait selon des cycles rapprochés, causant ainsi des fluctuations relativement importantes et fréquentes de la température et de l'humidité relative.

Du point de vue énergétique et économique, c'est une erreur d'augmenter le débit de ventilation en hiver lorsque l'équipement de chauffage est trop puissant. Cette façon de procéder réduit les fluctuations de température en maintenant le dispositif de chauffage presque toujours en marche. Il en résulte une humidité relative faible et une facture de chauffage beaucoup plus élevée. Prenons l'exemple suivant: un appareil de chauffage de 4,8 kW constamment en marche consomme 4,8 kW × 24 h/jour = 115 kWh/jour; tandis qu'un appareil de 2 kW fonctionnant constamment consomme 48 kW/jour, soit une perte de 115 - 48 = 67 kWh/jour. L'énergie ainsi gaspillée est plus importante que l'énergie nécessaire pour chauffer le bâtiment: 67 par rapport à 48 kWh/jour. La facture de chauffage peut ainsi plus que doubler sans que cela n'apporte aucun avantage supplémentaire.

Dans bien des cas où il faut de la chaleur supplémentaire avec la ventilation, la consommation d'énergie et les frais d'électricité peuvent facilement doubler si les dimensions ou la fréquence de démarrage de l'équipement de chauffage dépassent le minimum nécessaire. Au moment d'établir les dimensions du système de chauffage dans les bâtiments à environnement contrôlé, il faut se rappeler que les



Fig. 39 Chauffrette suspendu devant l'entrée d'air dans une salle d'élevage de veaux.

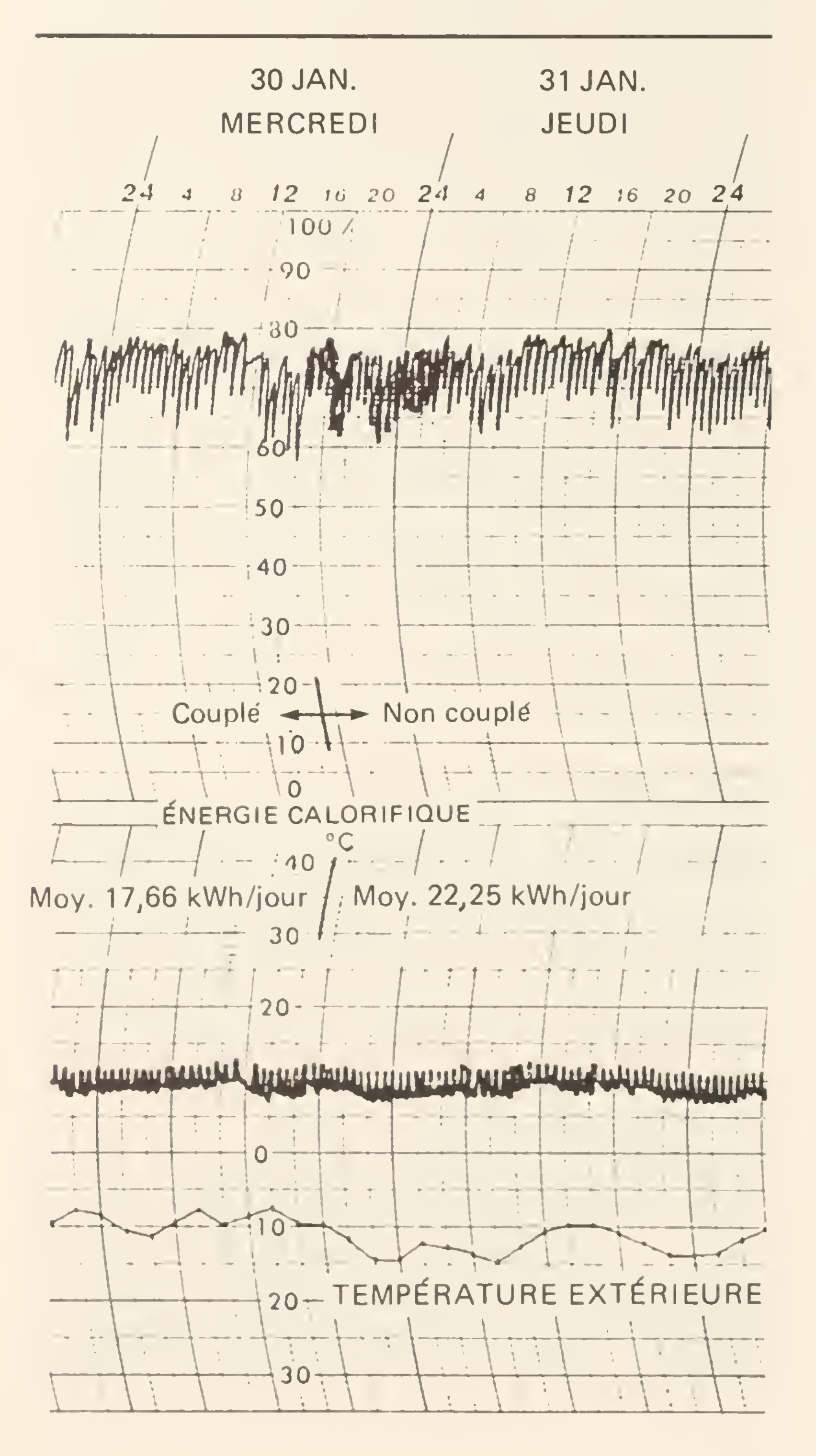
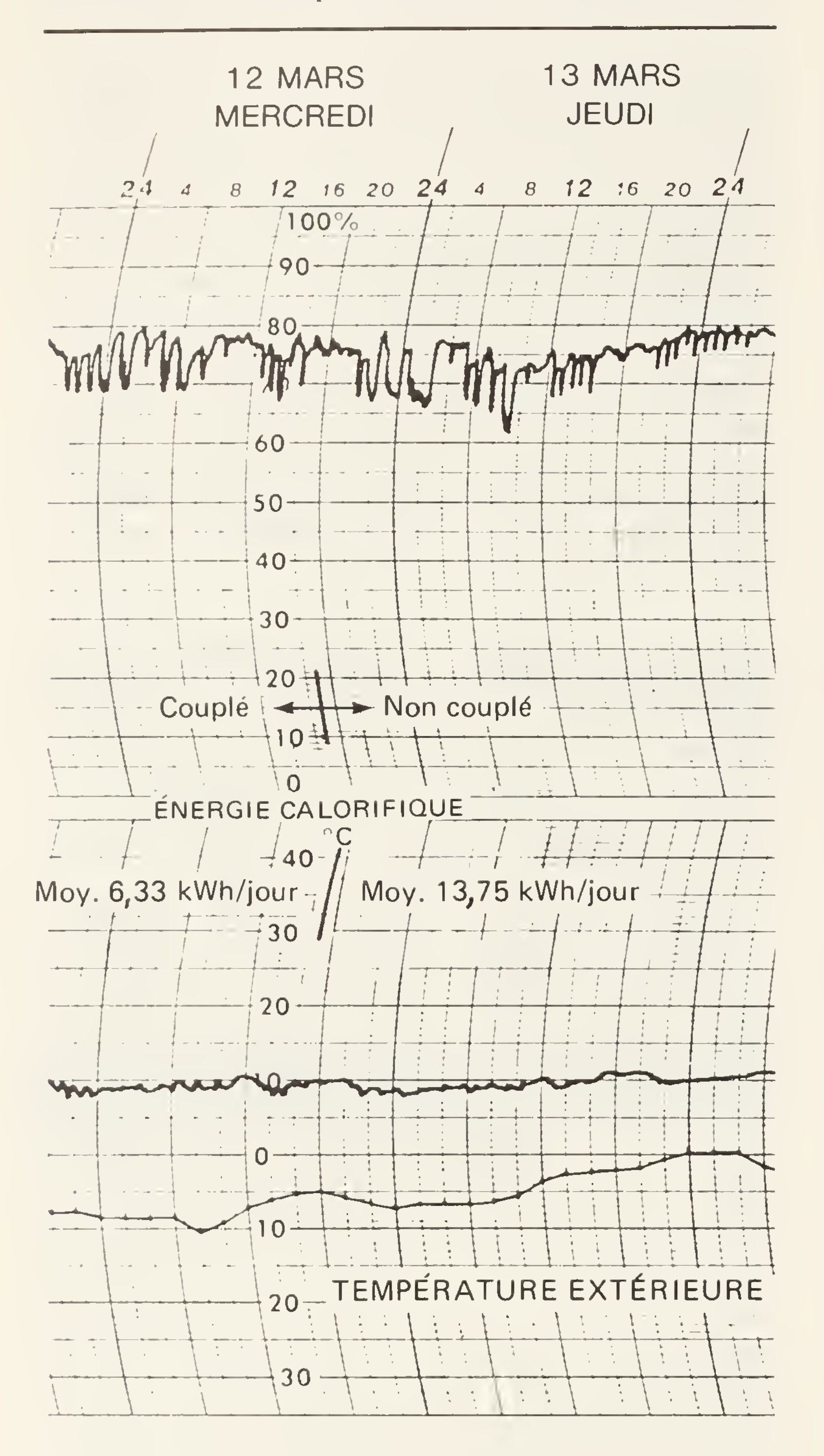


Fig. 40 Un dispositif de chauffage trop puissant entraîme de fréquentes variations de température et d'humidité relative.

Fig. 41 Un appareil de chauffage plus petit permet d'éliminer les variations de température et d'économiser l'énergie tout en maintenant la température désirée dans le bâtiment.



animaux produisent habituellement une grande partie de la chaleur nécessaire; il est donc préférable de choisir un appareil trop petit que trop gros. De cette façon, même si la température ambiante minimale peut descendre au-dessous de la température désirée pendant les quelques journées les plus froides de l'hiver, la qualité générale du milieu ambiant sera bonne le reste du temps et l'on réalisera ainsi des économies d'argent et d'énergie. (Les couveuses ne se prêtent pas à ce genre de compromis.)

Avec les économies d'énergie possibles de plus de 50 % dans bien des bâtiments à environnement contrôlé, le remplacement du type d'énergie, même par des sources d'énergie renouvelable, ne constitue pas un point de départ valable pour réduire les coûts d'exploitation. Il est beaucoup plus rentable de simplement réduire la puissance ou la fréquence des allumages de l'équipement de chauffage. Un système de chauffage séquentiel ou par étapes constitue incontestablement le meilleur choix dans les grosses couveuses. On peut toujours utiliser un petit appareil portatif pour les quelques jours extrêmement froids de janvier ou février.

Avant d'installer un équipement moins puissant, il est essentiel de s'assurer que les débits de ventilation soient suffisants afin de maintenir le niveau d'humidité en dessous de la limite maximale, qui est d'environ 80 % selon le type d'animaux. Il existe de nombreux documents à ce sujet: *Élevage des porcs en claustration* publication n° 1451 d'Agriculture Canada; *Stabulation entravée des bovins laitiers*, publication n° 1714 d'Agriculture Canada; et le code canadien de construction des bâtiments agricoles (1977).

Surventilation et chauffage.

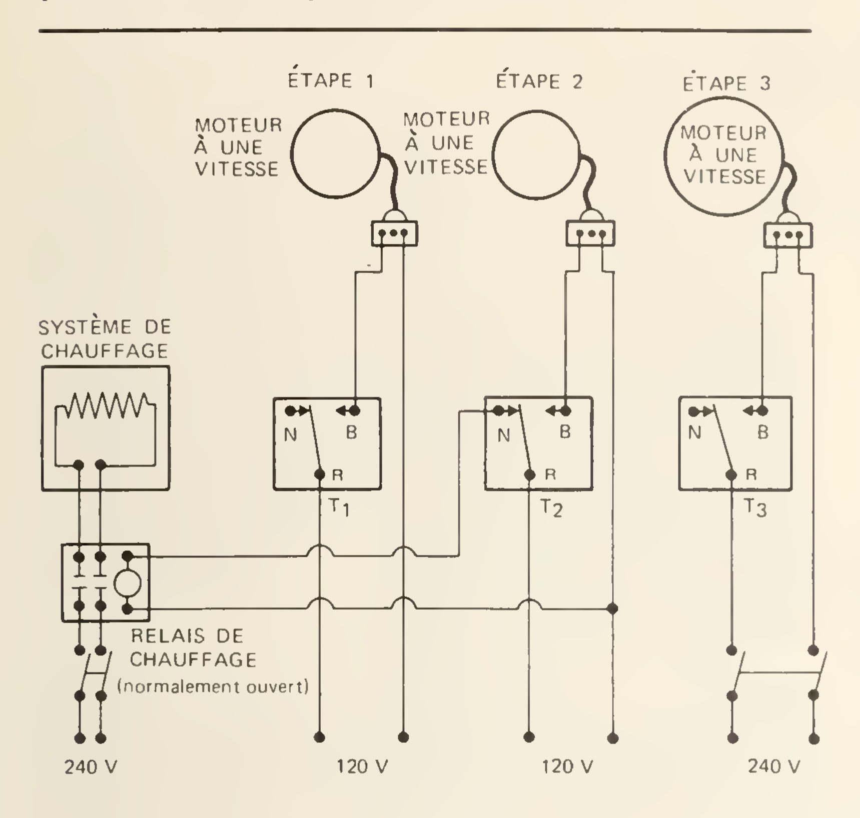
La surventilation (au-delà de ce qui est nécessaire pour maintenir le taux d'humidité désiré) pendant les périodes de chauffage est un gaspillage d'énergie et d'argent. Dans bien des cas, on peut prévenir un tel gaspillage en utilisant, pour le chauffage et la ventilation, des contrôles thermostatiques bien étalonnés et en échelonnant les points de consigne des ventilateurs d'évacuation de façon que les puissants ventilateurs d'été ne soient pas mis en marche par la chaleur fournie par l'équipement de chauffage.

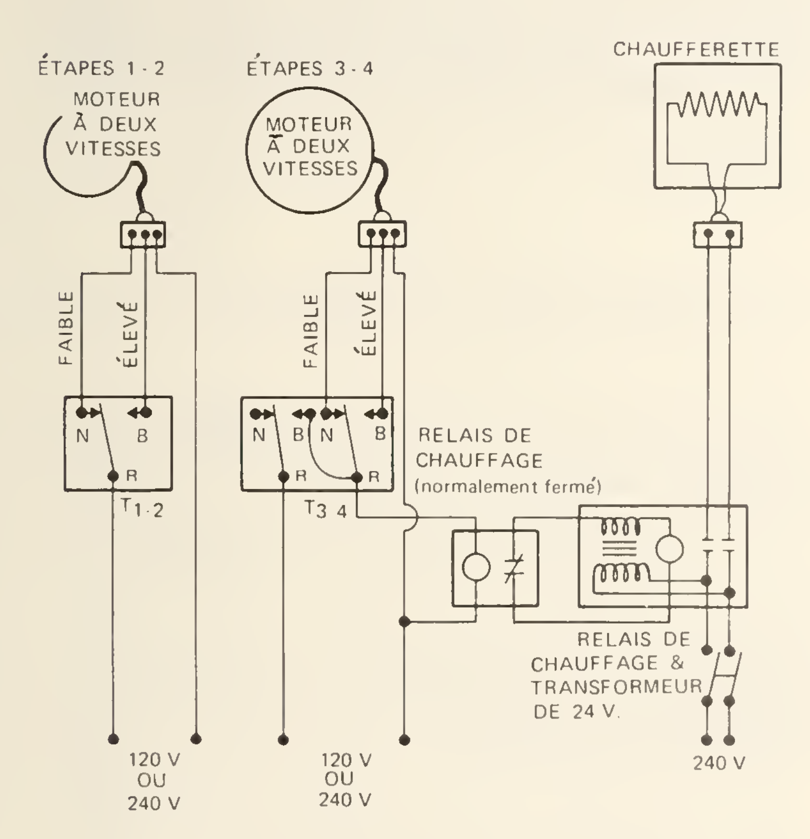
Théoriquement, cette façon de procéder donne des résultats satisfaisants. On peut effectivement économiser sur l'énergie nécessaire au chauffage en empêchant la surventilation lorsque l'équipement de chauffage est en marche. Le problème provient généralement de l'emplacement et de la sensibilité des trois à cinq thermostats nécessaires : ceux-ci doivent en effet tous réagir à la même température ambiante moyenne. Si, par exemple, un gros ventilateur se met en marche lorsqu'il fait chaud, la température peut baisser au-dessous du point de consigne du système de chauffage avant qu'il ne s'arrête. Cela est dû à la variation de la sensibilité ou du temps de réponse de chaque contrôle.

Ce chevauchement peut jusqu'à un certain point être éliminé en échelonnant les contrôles thermostatiques. Il suffit pour cela de régler les contrôles des ventilateurs d'été au moins 3 °C au-dessus de la température minimale d'hiver pour empêcher la surventilation pendant le fonctionnement du système de chauffage. Une méthode encore plus sûre pour prévenir la surventilation pendant le chauffage des installations de mise bas, de sevrage et d'élevage des veaux consiste à coupler les circuits des thermostats du chauffage et de la ventilation. La figure 42 donne deux diagrammes de connexion possibles. La figure 43 donne le rendement prévu ainsi que les directives pour l'établissement de la température dans une porcherie.

Le couplage des contrôles du chauffage et de la ventilation permet effectivement d'économiser l'énergie. D'après une évaluation sur place faite par Winfield et Turnbull (1980) dans une étable d'élevage des veaux, des économies moyennes d'énergie thermique de l'ordre de 32 % ont été réalisées entre le 14 janvier et le 30 mars avec un système classique bien conçu,

Fig. 42 Les contrôles de chauffage et de ventilation peuvent être couplés pour prévenir la surventilation pendant les périodes de chauffage.





bien étalonné et bien exploité. Un entrepreneur en électricité compétent peut concevoir un système en fonction de besoins précis, comme celui de la figure 28, comportant des éléments faciles à obtenir et conformes aux normes de l'électricité.

Encore une fois, il faut se rappeler que pour qu'un système à contrôles couplés économise l'énergie de façon efficace, le système de chauffage ne doit pas être trop puissant.

NOTE: Tous les moteurs à deux vitesses ne permettent pas le couplage entre la basse et la haute vitesse. Le moteur doit être muni d'un interrupteur de sectionnement. Voyez votre fournisseur ou votre électricien à ce sujet.

Superficie à chauffer. Une bonne façon de réduire les besoins en chaleur supplémentaire consiste à assurer, dans la mesure du possible, la densité maximale d'occupation des locaux. Par exemple, dans le cadre d'une expérience, Winfield (1981) a évalué la consommation d'énergie nécessaire au chauffage dans un nouveau bâtiment bien isolé et contenant 20 stalles de mise bas en continu. Lorsque la porcherie n'était que partiellement habitée au cours de l'hiver de 1978-1979 en raison de retards dans la reconstitution du troupeau des truies, la consommation moyenne d'énergie était de 13,53 kWh/jour (0,56 kW). Lorsque la porcherie a été entièrement occupée, en 1979-1980, la consommation moyenne d'énergie est tombée à 2,155 kWh/jour (0,09 kW), soit une réduction de 84 %. Il faut toutefois remarquer que le système de ventilation avait été conçu avec un certain degré de souplesse pour une porcherie pouvant contenir 20 truies et leurs portées.

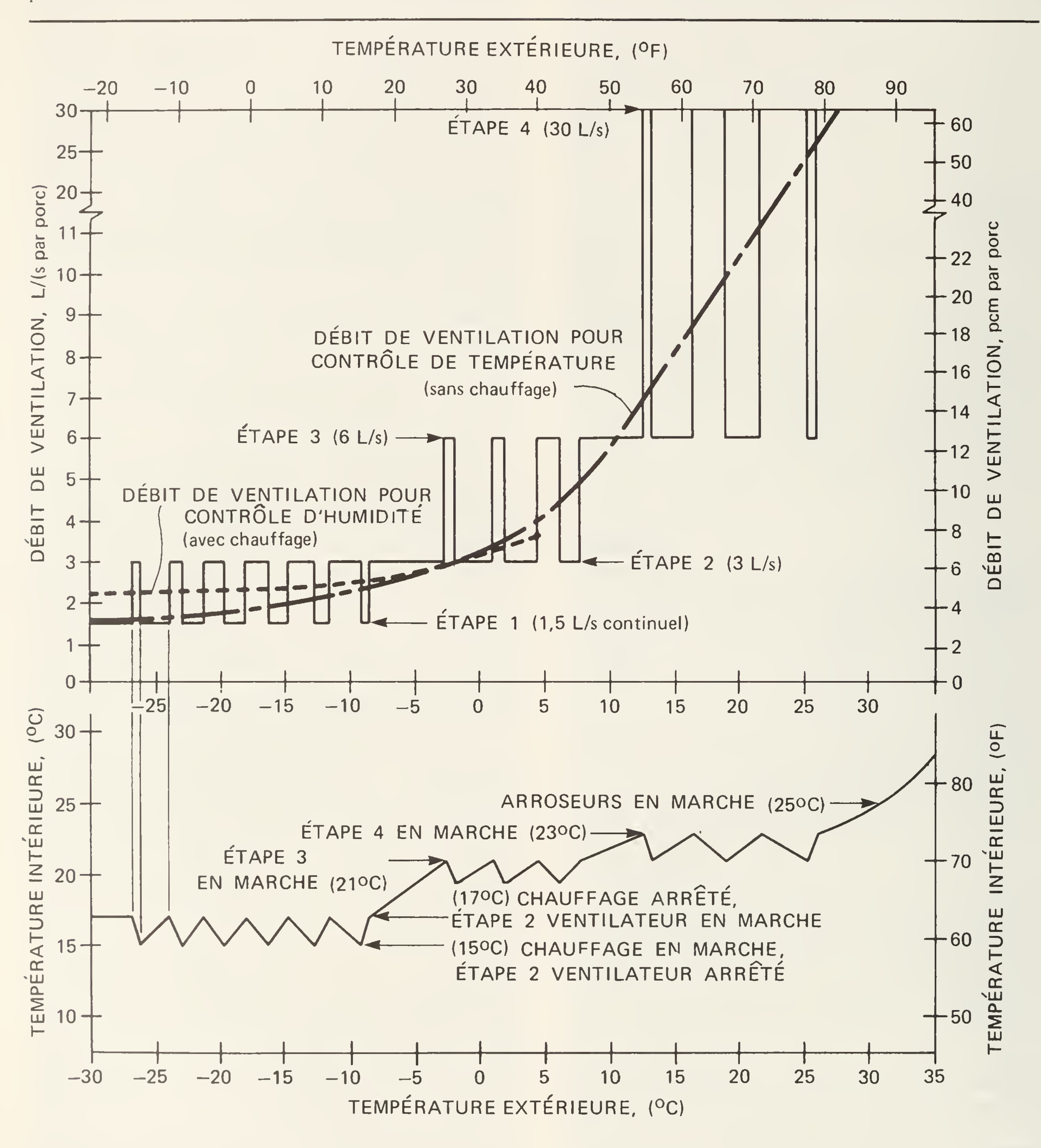
Les couveuses sont particulièrement vulnérables aux faibles densités d'occupation. Lorsque les poussins ou les poulets sont petits, la température à l'intérieur du bâtiment doit être élevée; les pertes de chaleur par conduction et infiltration d'air ont par conséquent une forte incidence sur l'énergie utilisée et le montant de la facture de chauffage. Les producteurs se sont efforcés d'isoler ou de réisoler les bâtiments, d'installer des coupe-bise aux portes et de calfeutrer toutes les ouvertures inutiles. La superficie à chauffer reste quand même considérable et d'autres solutions peuvent être envisagées

La superficie à chauffer peut être réduite à l'aide de cloisons temporaires, généralement des feuilles de polyéthylène. Certains producteurs n'utilisent effectivement qu'une partie (environ un tiers du bâtiment) au début de la couvaison. D'autres utilisent un système de couvaison double qui ne fait appel qu'à la partie centrale du bâtiment au cours de la phase initiale du processus. Dans les deux cas, après environ deux semaines, lorsque la température à l'intérieur du bâtiment a été réduite et que les poussins ou les poulets commencent à produire plus de chaleur corporelle et nécessitent un plus grand débit de ventilation, on agrandit l'espace intérieur en enlevant les cloisons temporaires. Cette solution peut être très avantageuse puisqu'il est estimé qu'environ 50 % de toute l'énergie nécessaire à l'élevage des poulets est utilisée au cours des deux premières semaines.

Toutes les fois que c'est possible, les producteurs devraient penser à utiliser des radiateurs pour assurer le confort des volailles tout en baissant la température ambiante afin de réduire les pertes de chaleur par conduction. Le fait de diminuer le nombre de couveuses en été peut également réduire la chaleur excédentaire qui doit être extraite par ventilation.

Un dernier facteur à considérer mais non le moindre, c'est que l'échange d'air doit être maintenu au minimum. L'humidité et les gaz produits par les couveuses à chauffage direct doivent être évacués. Les

Fig. 43 Exemple de ventilation séquentielle avec contrôles de chauffage couplés dans une porcherie nécessitant un supplément de chaleur.



sorties d'air des gros ventilateurs d'été doivent cependant être scellées pour des raisons économiques, car, par exemple, lorsqu'il y a une différence de 39 °C entre la température de l'air intérieur et celle de l'air extérieur, chaque 500 L/s d'air changé inutilement représente 574 kWh/jour ou 81 litres de GPL (propane) par jour.

En raison des très faibles débits de ventilation d'extraction requis au début de la couvaison, bien des producteurs trouvent avantageux, tant du point de vue de la qualité du milieu ambiant que de celui de la consommation d'énergie, de brasser l'air dans la couveuse au moyen de ventilateurs suspendus ou de tout autre appareil de recirculation d'air vendu sur le marché.

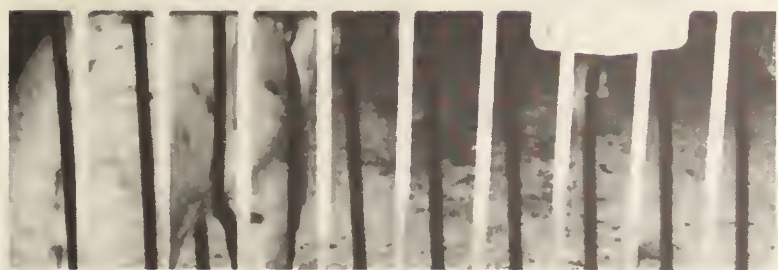



Fig. 44 Les porcs sont attirés vers l'eau pulvérisée par intermittence dans un enclos.



Fig. 45 Une aspersion sommaire est assurée par des gicleurs mis en marche par un thermostat et une minuterie qui actionnent une soupape à solénoïde.

Confort des animaux ou des volailles en été

Les animaux et les volailles sont accablés par la chaleur lorsque la température de l'air dépasse 29 °C. Il s'agit donc de baisser la température pour ainsi augmenter le rythme de croissance, améliorer l'assimilation de la nourriture, rationaliser l'élevage et diminuer les pertes de vie animale.

Déplacement rapide de l'air. Comme les humains, la plupart des animaux et des volailles sont soulagés de la chaleur lorsque l'air circule rapidement sur leur corps. Ce critère est à la base du calcul des débits de ventilation d'été. Malheureusement le déplacement de grandes quantités d'air par les ventilateurs pour produire l'effet de refroidissement désiré se traduit par une consommation accrue d'électricité. On peut donc simplement aménager dans le bâtiment de grandes portes, des panneaux basculants ou encore des murs-rideaux que l'on ouvre au besoin. Même à de faible vitesse comme 3 ou 5 km/h, le vent qui pénètre dans le local rafraîchit suffisamment les animaux. Cette solution donne de bons résultats, mais les ouvertures habituelles par où l'air peut fuir peuvent poser des problèmes d'infiltration d'air en hiver. (Cela ne pose pas de problèmes importants dans le cas des bâtiments à ambiance modifiée abritant des boeufs et des vaches laitières.)

Les débits recommandés pour la ventilation d'été permettent habituellement d'assurer le confort et la productivité de la plupart des types de volailles. Il faut faire bien attention de toujours assurer une bonne distribution de l'air frais, surtout pour les volailles gardées en cage. Dans le cas des systèmes de plancher, les oiseaux ont tendance à se déplacer vers les endroits où l'air est frais, ce qui indique à l'éleveur que les entrées d'air doivent être réglées pour une meilleure distribution ou circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment.

Les porcs font exception, comme ils ne peuvent pas suer, aucun rafraîchissement par évaporation ne peut se produire naturellement à la surface de leur peau.

Refroidissement des porcs par aspersion. D'après les recherches et les expériences effectuées sur le terrain, le refroidissement des porcs par aspersion semble très efficace. Il s'agit de procéder à des aspersions sommaires intermittentes (fig. 44) pour attirer et tremper les porcs. L'aspersion assurée par les gicleurs (fig. 45) est réglée par une minuterie et un thermostat. Le thermostat actionne la minuterie lorsque la température de l'air atteint un degré donné, 25 °C par exemple (fig. 43); la minuterie met alors en marche un dispositif qui fait tomber de grosses gouttes d'eau pendant une courte période, environ deux minutes chaque demi-heure (Sojak et Morris, 1975). La consommation totale en eau ne devrait pas augmenter considérablement étant donné que les porcs boivent moins d'eau lorsqu'ils ne sont pas accablés par la chaleur.

Rafraîchissement de l'air par évaporation. Lorsque de l'air chaud et sec passe à travers un tampon saturé d'eau, il est refroidi par évaporation. L'air qui sort d'un humidificateur est plus froid

que l'air pénétrant dans la pièce, mais comme il absorbe de l'humidité, l'humidité absolue et l'humidité relative de la pièce s'en trouvent accrues. C'est d'ailleurs pourquoi on utilise des humidificateurs dans les maisons en hiver.

Le principe du refroidissement de l'air par évaporation dans les bâtiments pour les animaux et la volaille donne de très bons résultats dans les régions chaudes et arides. Malheureusement, au Canada, lorsque la température de l'air est élevée, l'humidité relative l'est généralement aussi, ce qui rend cette solution moins attrayante. Le niveau de confort dépend en réalité de l'équilibre entre la température et l'humidité. Environnement Canada le donne comme indice humidex.

Le refroidissement de l'air par évaporation dans les bâtiments réservés aux animaux et à la volaille est utilisé avec succès à certains endroits pour soulager les animaux de la chaleur.

Moteurs à bon rendement énergétique

Les fabricants de moteurs électriques ont réagi à la hausse des coûts de l'électricité en fabriquant des moteurs plus économiques. L'exploitant agricole devrait en tenir compte lorsqu'il achète un nouveau moteur ou remplace les anciens, surtout si le moteur doit fonctionner pendant de longues heures ou presque continuellement. L'achat d'un nouveau moteur à fort rendement énergétique pour un désileur, par exemple, n'est pas économique puisqu'il fonctionne moins d'une heure par jour sur la plupart des fermes.

Ces moteurs sont par contre avantageux dans les nouveaux ventilateurs. Comme nous l'avons déjà mentionné, les ventilateurs à faible vitesse et à grand diamètre produisent généralement plus de L/s par watt. Ils doivent être utilisés pour contrôler la température en été toutes les fois que c'est possible. Les petits ventilateurs à entraînement direct sont également vendus avec des moteurs à économie d'énergie. Ce facteur ne doit pas être négligé lors du choix de ventilateurs à fonctionnement continu pour l'hiver. Cependant, l'acheteur doit faire attention et faire preuve de bon jugement. Certains de ces moteurs tournent plus lentement que la vitesse normale de 1 725 tours minutes: leur ampérage à pleine charge est donc plus faible, mais leur débit également (L/s). Le choix devra donc reposer sur le coût — jusqu'à ce que les résultats d'essais indépendants sur les ventilateurs agricoles au Canada soient publiés.

Réduction de l'éclairage

Dans bien des cas, mais surtout pour l'élevage de la volaille, l'intensité ou la durée de l'éclairage peuvent être réduites pour économiser l'énergie et réduire les coûts d'exploitation. Lorsqu'on peut remplacer les ampoules de 100 watts par des ampoules de 60 watts, cela représente une réduction de 40 % de l'énergie électrique nécessaire.

Des gradateurs ou rhéostats peuvent également être utilisés pour réduire l'intensité de l'éclairage dans bien des poulaillers ou porcheries. Ces appareils ont l'avantage de permettre d'accroître l'intensité de l'éclairage pour certaines tâches données comme l'alimentation, l'observation ou les nettoyages et de la réduire lorsque l'éleveur quitte les lieux. Il s'agit en fait de ne fournir aux animaux ou aux volailles que l'éclairage suffisant pour leur permettre de manger et de boire. Les gradateurs ne permettent pas seulement d'économiser l'énergie, mais ils accroissent également considérablement la durée des lampes incandescentes.

Bien qu'elles soient plus économiques du point de vue énergétique que les lampes incandescentes dans des conditions ambiantes idéales, les lampes fluorescentes doivent être utilisées avec jugement dans les bâtiments réservés aux animaux ou à la volaille. À des températures inférieures à 13 °C, ces lampes ont en effet besoin d'un ballast spécial pour basse température et ne fournissent plus un rendement supérieur.

Il est impossible de diminuer l'intensité des lampes fluorescentes. Une solution consiste à raccorder alternativement toutes les deux lampes à des interrupteurs distincts, ce qui permet d'obtenir une forte densité lumineuse localisée. Les lampes fluorescentes doivent être utilisées pour éclairer la surface de travail dans les bureaux ou les divers lieux de travail où règne une température élevée. Elles peuvent également être utilisées dans les porcheries de reproduction sans fenêtre et les étables laitières de démonstration. Il est essentiel d'avoir un bon éclairage dans ces endroits et les tubes doivent y être nettoyés régulièrement.

Les minuteries permettant d'allumer et d'éteindre les lampes en fonction de photopériodes déterminées ou des périodes d'alimentation peuvent également être très économiques du point de vue énergie. Ces dispositifs peuvent être utilisés dans les poulaillers pour poulets à griller, dans les pondeuses et les bâtiments abritant les jeunes poussins de même qu'en divers autres endroits.

L'éclairage de sécurité extérieur peut être fourni par des lampes très efficaces, comme les lampes à vapeur de sodium ou de mercure, et devrait être commandé par des cellules photoélectriques afin qu'elles ne soient allumées que lorsqu'il fait nuit.

RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE CLASSIQUE AVEC LES NOUVELLES TECHNIQUES

Les thermopompes et les appareils de réfrigération

Les thermopompes et les appareils de réfrigération ont tous deux la capacité de transférer la chaleur (kilojoules d'énergie). L'énergie thermique et recueillie par l'évaporation d'un liquide réfrigérant à l'intérieur d'un évaporateur. Le réfrigérant sous forme gazeuse est comprimé, généralement à l'aide d'un compresseur

électrique, ce qui le rend très chaud. Le réfrigérant comprimé (surchauffé) passe ensuite dans un condenseur refroidi à l'air ou à l'eau où il cède sa chaleur pour redevenir liquide. La chaleur récupérée par le condenseur peut être soit rejetée, soit utilisée.

Lorsqu'ils sont bien conçus pour une application donnée, les thermopompes ou les appareils de réfrigération peuvent transférer plus d'énergie thermique que l'équivalent en énergie électrique qu'ils consomment. Lorsque les thermopompes sont spécialement conçues pour fournir de la chaleur, ce rapport est appelé coefficient de rendement. Ce coefficient est souvent de l'ordre de 2 à 4 selon l'application et, plus particulièrement, selon la chaleur disponible.

Récupération de la chaleur du lait.

Les appareils de réfrigération d'un réservoir à lait en vrac extraient la chaleur du lait jusqu'à ce que celui-ci atteigne la température de conservation désirée, soit 3 °C.

Chaque litre de lait libère environ 136 kJ (0,0378 kWh) d'énergie thermique. Ainsi, compte tenu d'une production quotidienne de 1 000 L de lait, 136 000 kJ ou l'équivalent de 37,8 kWh d'énergie thermique sont produits. (3 600 kJ = 1 kWh).

Avec un condenseur classique refroidi à l'air (fig. 46), la chaleur est évacuée de la salle à lait pendant la majeure partie de l'année pour que cette salle soit toujours froide. Une certaine quantité de cette chaleur peut être utilisée pour chauffer la salle à lait en hiver.

Les condenseurs entièrement refroidis à l'eau ou appareils de préchauffage avec élément désurchauffeur incorporé peuvent transférer à l'eau tout ou une partie de la chaleur du lait (fig. 47). Ces appareils fournissent une eau chauffée à une température variant entre 40 et 60 °C ce qui peut être utilisée directement pour nettoyer les installations ou laver les pis des vaches; cette eau n'est cependant pas assez chaude, en général, pour aseptiser l'équipement. Ainsi, l'efficacité de ce système de récupération de la chaleur dépend de la production quotidienne de lait, des besoins en eau chauffée de 40 à 60 °C et du coût de l'énergie classique nécessaire pour chauffer l'eau.

Une étude faite sur le terrain par Winfield et Gee (1983) a fait ressortir la piètre rentabilité de ce système dans les petites installations à stabulation entravée produisant moins de 1 000 L de lait par jour et ne nécessitant que 200 à 300 L par jour d'eau chaude entre 74 et 77 °C, principalement pour la stérilisation, lorsque l'énergie électrique nécessaire pour chauffer l'eau coûte moins de 0,05 $/kWh. Pour l'investissement de 1 000 $ que représente l'achat de l'appareil de préchauffage, à peine plus de 40 % de la chaleur du lait a pu être récupérée, soit seulement le tiers de l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau. Les deux autres tiers nécessaires pour élever la température de l'eau et compenser les pertes de chaleur ont dû être fournis par une autre source. Les pertes de chaleur surviennent lorsque l'eau très chaude (de 74 à 77 °C) entre en contact avec l'air froid (5 °C) de la salle à lait. Il semble plus avantageux pour tous les producteurs de lait de diminuer la quantité d'eau *chaude* gardée en stock et d'installer des

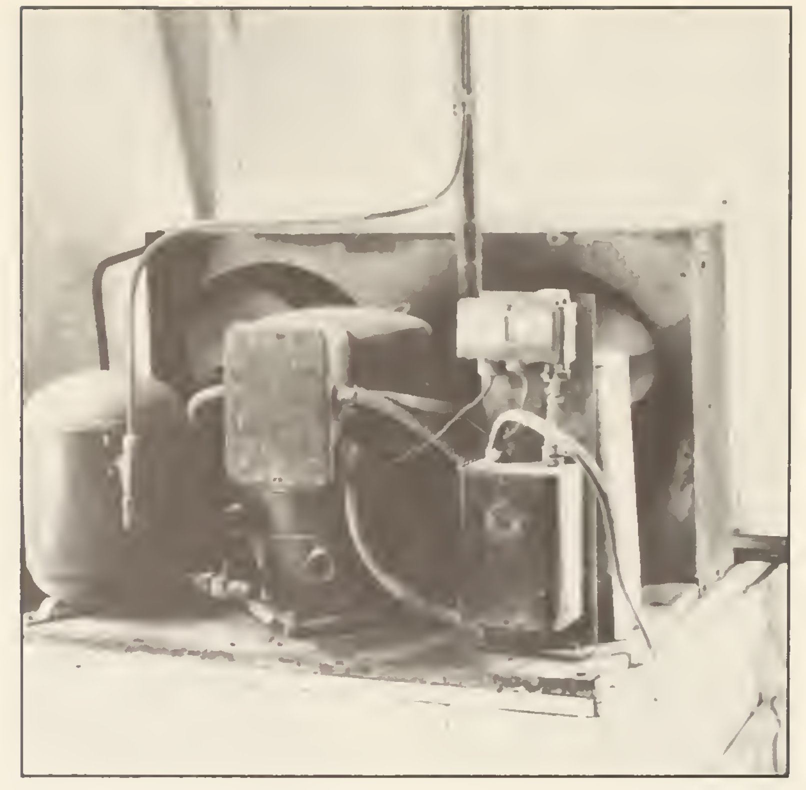


Fig. 46 Système de condensation classique refroidi à l'air pour un réfrigérateur de lait en vrac; la chaleur est évacuée dans la salle à lait.

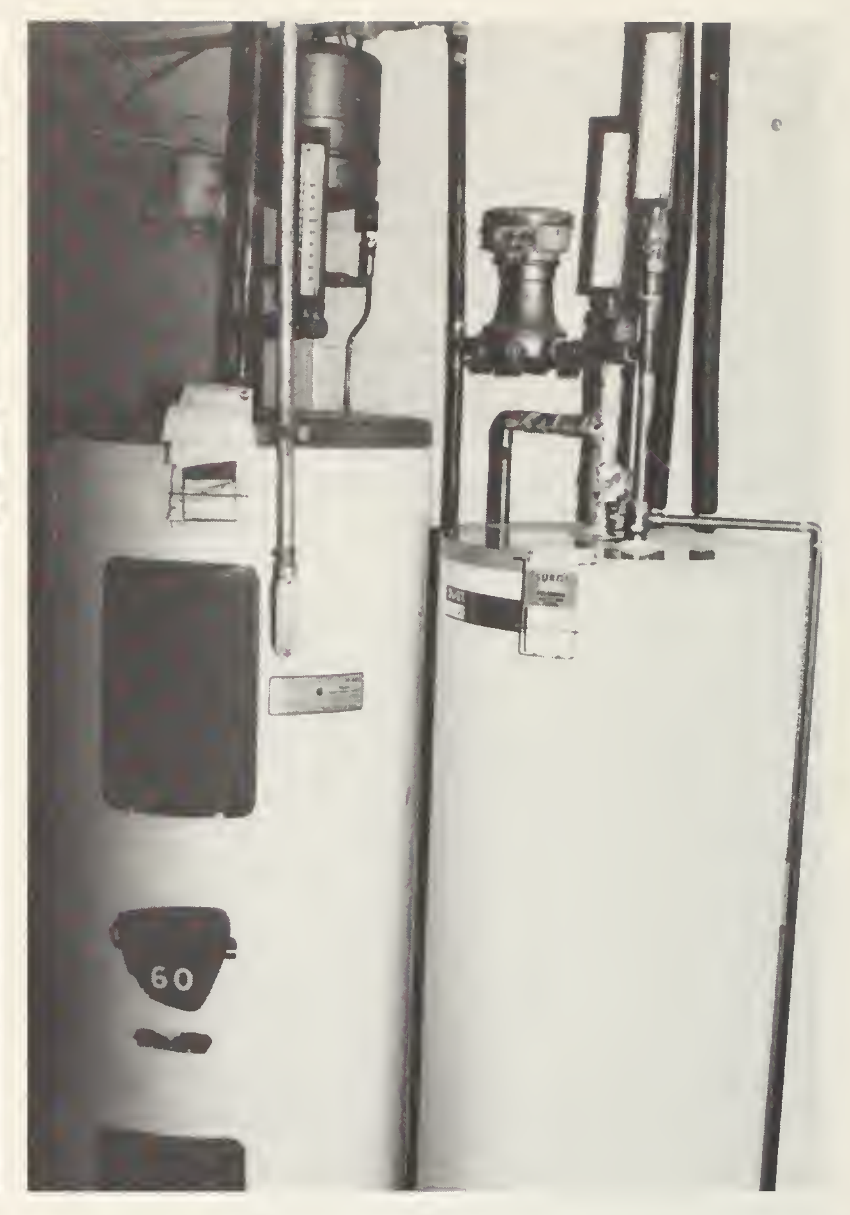
chauffe-eau ''surisolés'' à récupération rapide pour fournir l'eau nécessaire à la stérilisation.

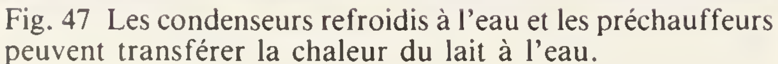
Les producteurs devraient également surveiller la consommation d'eau chaude. Un interrupteur de déclenchement défectueux dans le système de nettoyage des conduites ou du réservoir peut entraîner une augmentation de 40 % de la consommation d'eau chaude (Winfield et Gee, 1983).

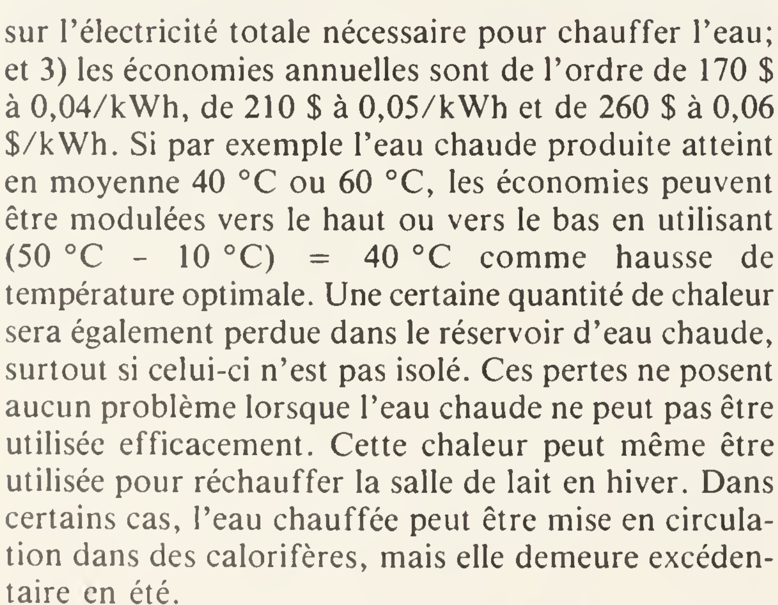
Par contre, les grands producteurs laitiers, qui produisent de 1 500 à 2 000 litres de lait par jour et plus, et utilisent d'importantes quantités d'eau à une température variant entre 40 et 60 °C pour laver le pis des vaches et nettoyer les installations, peuvent certainement tirer profit d'un système de récupération de la chaleur. Boris (1981) fait état d'une économie de 37 kWh/jour sur l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau dans une exploitation comptant 80 vaches laitières. La production moyenne de lait y était de 1 655 L/jour et la consommation d'eau chaude, de 1 099 L/jour. Le préchauffeur donnait une eau à 41 °C; il aurait donc pu permettre de réaliser des économies encore plus élevées si l'eau préchauffée avait atteint en moyenne près de 50 °C.

Winfield et Gee (1983) ont fait un diagramme (fig. 48) permettant d'évaluer les économies en énergie et en dollars réalisées au moyen de préchauffage de l'eau avec la chaleur récupérée du lait. L'exemple A indique comment fonctionne le diagramme. L'exploitation en stabulation entravée dont il est question ci-dessus produisait 750 L de lait par jour: axe horizontal. Une moyenne de 250 L par jour d'eau chauffée à 50 °C était fournie par le préchauffage: axe vertical. En se déplaçant horizontalement à partir de la valeur 250, nous obtenons les données suivantes : 1) la consommation d'eau chaude équivaut à 33 % de la production du lait; 2) environ 12 kWh/jour sont économisés






Fig. 47 Les condenseurs refroidis à l'eau et les préchauffeurs peuvent transférer la chaleur du lait à l'eau.


sur l'électricité totale nécessaire pour chauffer l'eau; et 3) les économies annuelles sont de l'ordre de 170 $ à 0,04/kWh, de 210 $ à 0,05/kWh et de 260 $ à 0,06 $/kWh. Si par exemple l'eau chaude produite atteint en moyenne 40 °C ou 60 °C, les économies peuvent être modulées vers le haut ou vers le bas en utilisant (50 °C - 10 °C) = 40 °C comme hausse de température optimale. Une certaine quantité de chaleur sera également perdue dans le réservoir d'eau chaude, surtout si celui-ci n'est pas isolé. Ces pertes ne posent aucun problème lorsque l'eau chaude ne peut pas être utilisée efficacement. Cette chaleur peut même être utilisée pour réchauffer la salle de lait en hiver. Dans certains cas, l'eau chauffée peut être mise en circulation dans des calorifères, mais elle demeure excédentaire en été.

Dans le cas des grandes fermes laitières qui produisent, par exemple, 2 000 L de lait par jour, un condenseur à eau et un condenseur à air peuvent être utilisés pour un même réservoir en vrac si toute l'eau chaude ne peut être utilisée efficacement. À supposer que seulement 800 L d'eau chauffée à 50 °C peuvent être utilisés efficacement, la figure 48 établit : 1) que la consommation d'eau chaude équivaut à 40 % de la production de lait; 2) qu'environ 37 kWh/jour peuvent être économisés sur l'électricité nécessaire pour chauffer l'eau; et 3) que les économies annuelles s'élèvent à environ 690 $ à 0,05 $/kWh. Cette dernière somme constitue un paiement sur les 2 000 $ (coût d'accroissement estimatif d'installation) du condenseur de 2,2 kW (3 HP) à eau, qui se trouve ainsi être remboursé en moins de 3 ans. Il s'agit donc d'un bon investissement pour épargner de l'énergie.

Si, dans l'exemple ci-dessus, deux condenseurs à eau ou un seul très gros avaient été installés, il aurait fallu jeter de l'eau chaude pour maintenir la température de l'eau de refroidissement en-dessous de 60 °C. L'eau est également une ressource précieuse.

La pratique consistant à réduire le temps de marche du compresseur en utilisant des condenseurs ou des préchauffeurs refroidis à l'eau n'est pas encore très bien documentée. Il ne fait cependant aucun doute que ces appareils ont un meilleur rendement énergétique lorsque la température ambiante autour de condenseurs à lait approche les 30 °C, température que l'on atteint les chaudes journées d'été ou même, par une journée d'été normale, lorsque la salle dans laquelle est installé le condenseur est fermée et non ventilée.

À mesure qu'augmentent les coûts de l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau, les condenseurs et les préchauffeurs à eau deviennent de plus en plus rentables, même dans des fermes laitières dont la production quotidienne est inférieure à 1 000 L. L'équipement

Fig. 48 Les économies d'énergie possibles grâce au transfert de la chaleur du lait à l'eau, calculées en fonction de la consommation d'eau chaude.

* EN SUPPOSANT L'EAU DU PUITS À 10 °C
– DONC AUGMENTATION DE TEMPÉRATURE DE 40 °C
– PEUT ÊTRE RÉGLÉ À LA HAUSSE OU À LA BAISSE

ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
COÛT ¢ / kWh
4 5 6

ÉGALEMENT LA LIGNE DE LA CHALEUR TOTALE DU LAIT (136 kJ/L)

80 % 70 % 60 % 50 % 40 % 30 %

CONSOMMATION D'EAU CHAUDE – % DE LA PRODUCTION DE LAIT

EXAMPLE " A "

* EAU CHAUFFÉE PAR JOUR (MOY. DE 50 °C) – L
0 500 1000 1500 2000

PRODUCTION QUOTIDIENNE DE LAIT – L
0 500 1000 1500 2000 2500

ÉCONOMIE PAR JOUR (kWh)
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

MONTANT ÉCONOMISÉ ANNUELLEMENT

4 ¢ / kWh	5 ¢ / kWh	6 ¢ / kWh
1500	1800	2100
1400	1700	2000
1300	1600	1900
1200	1500	1800
1100	1400	1700
1000	1300	1600
900	1200	1500
800	1100	1400
700	1000	1300
600	900	1200
500	800	1100
400	700	1000
300	600	900
200	500	800
100	400	700
	300	600
	200	500
	100	400
		300
		200
		100

est déjà sur le marché et fonctionne très bien lorsqu'il est judicieusement choisi. Le choix de l'appareil doit être basé sur la production quotidienne de lait pour fournir la chaleur, l'utilisation efficace de l'eau à une température variant entre 40 et 60 °C (dont une partie ou la totalité peut être surchauffée en vue de la stérilisation) et le coût de l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau. À court terme, les petits producteurs ont avantage à réduire l'utilisation de l'eau chaude (entre 74 et 77 °C) et le volume d'eau gardée à cette température. L'achat d'un nouveau chauffe-eau «superisolé» se rembourserait en effet en moins de temps que tout autre équipement de récupération de chaleur.

Extraction de la chaleur de l'air, de l'eau ou du sol. Les thermopompes ont la capacité d'extraire la chaleur et de la rendre à une température supérieure. Leur efficacité ou leur coefficient de rendement est élevé à condition de pouvoir compter sur des quantités suffisantes de chaleur. Cela peut constituer un facteur limitatif dans notre climat froid.

L'air extérieur très en-dessous du point de congélation qui fournit une source de chaleur à la thermopompe pose certains problèmes. La vapeur d'eau contenue dans l'air froid se condense et gèle sur l'évaporateur (serpentins d'extraction de la chaleur). Le mouvement de la thermopompe doit alors être inversé afin de faire dégeler les serpentins par la chaleur. Contrairement au chauffage résidentiel, le chauffage d'appoint des bâtiments à ambiance contrôlée abritant des animaux ou des volailles n'est nécessaire qu'en hiver — sous la température critique — qui peut être inférieure au point de congélation dans le cas des bâtiments bien isolés et remplis à capacité.

Des problèmes semblables se présentent lorsqu'il faut extraire une importante quantité de chaleur du sol, de l'eau souterraine ou du réservoir de fumier liquide. Avant de faire de gros investissements dans l'achat d'une thermopompe pour le chauffage d'un bâtiment abritant des animaux ou des volailles, il faut évaluer avec précision la quantité de «chaleur libre» disponible. De plus, bien des milieux peuvent corroder et encrasser le condenseur ou les serpentins d'évaporation s'ils sont placés dans un réservoir à fumier liquide. Le fumier liquide peut également geler si la chaleur en est extraite trop rapidement.

Les échangeurs de chaleur

Le radiateur de votre camion ou de votre tracteur sont des échangeurs de chaleur. Il contient à l'intérieur un fluide chaud. La chaleur sèche (sensible) passe par le faisceau du radiateur et est transférée à un fluide froid (l'air) à l'extérieur. Dans cet exemple, la chaleur est jetée, mais dans bien des bâtiments agricoles, elle peut être récupérée et réutilisée. Ces possibilités de réutilisation posent certains problèmes qui peuvent quelquefois être résolus par les innovateurs.

Échangeurs liquide à liquide. Il existe des échangeurs de chaleur incorporés à la canalisation capables de refroidir le lait avant son entrée dans le réservoir en vrac. La chaleur peut être transformée ou transférée à l'eau froide du puits durant la traite des vaches. Il est alors essentiel que le débit d'eau soit constant. La température de l'eau ne sera portée qu'à environ 18 °C, n'offrant que quelques applications directes limitées. On pourrait se servir de cette eau pour tiédir l'eau de boisson des animaux, mais les avantages de cette pratique sont minimes, ne sont pas constants, et sont nuls en saison chaude lorsque la consommation en eau est la plus grande.

Un de ses avantages réels est de réduire la température de mélange du lait, ce qui peut améliorer la qualité du lait. Un autre avantage consiste à réduire le temps de fonctionnement du compresseur de refroidissement. Les réfrigérateurs à lait avec condenseur à eau coûtent plus cher à l'achat, mais offrent plus d'avantages tout en produisant de l'eau chaude utilisable au besoin.

Échangeurs de chaleur air à air. Les pertes de chaleur par ventilation dans les bâtiments abritant des animaux ou des volailles sont de beaucoup supérieures aux pertes de chaleur attribuables au bâtiment lui-même. En récupérant seulement une partie de cette chaleur au cours de la saison froide, bien des installations à aération continue pourraient maintenir un bilan thermique positif et ainsi ne nécessiter aucun surplus de chaleur.

Certains échangeurs de chaleur maison (fig. 49) et commerciaux (fig. 50) ont été testés sur le terrain avec plus ou moins de succès. Le ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan a publié une excellente brochure intitulée *Livestock Ventilation Heat Recovery Systems* portant sur les principes fondamentaux de conception, les divers systèmes sur le marché, les problèmes de fonctionnement et les techniques utilisées pour évaluer l'amortissement des coûts d'immobilisation.

Bien que ce principe soit fondé, les bâtiments pour animaux ou volailles posent des problèmes d'application et de fonctionnement uniques:

1. Par temps froid, l'air évacué est toujours humide et peut être presque saturé (80 % de HR). Le refroidissement entraîne la condensation et le gel de cette vapeur d'eau, diminuant ainsi le débit d'air extrait dans l'échangeur de chaleur lorsque celui-ci a une grande efficacité de récupération de la chaleur.

   Les appareils de moindre efficacité peuvent diminuer le gel du condensat. Le dégel de l'eau de condensation du côté sortie de l'échangeur de chaleur se fait généralement en stoppant ou en réduisant le débit d'approvisionnement en air froid au moment du gel. Le dégel peut être contrôlé de différentes façons. Une bonne méthode consiste à contrôler le gel en fonction de la température de l'air évacué à la sortie de l'échangeur de chaleur.

2. La poussière en suspension dans l'air évacué peut s'accumuler dans l'eau de condensation, bloquant et corrodant ainsi les plaques métalliques de l'échangeur de chaleur. On peut, pour éviter ce problème, utiliser des faisceaux ou plaques de plastique, mais cela



Fig. 49 Les échangeurs de chaleur utilisés pour récupérer la chaleur contenue dans l'air d'extraction peuvent être construits sur place.

n'élimine en aucune façon la nécessité de nettoyer régulièrement la partie échappement de l'échangeur.
3. Certains systèmes d'échangeurs nécessitent beaucoup d'électricité pour faire fonctionner un ventilateur qui élimine les pertes par friction dans l'échangeur. Cette énergie doit être déduite des économies d'énergie thermique lors du calcul de la rentabilité de l'appareil.
4. L'air tiède entrant dans le bâtiment sort souvent des échangeurs en un seul endroit, ce qui est inacceptable dans la plupart des cas. Cet air doit donc être distribué par un système d'aération ou par un système de recirculation d'air qui, autrement, ne serait peut-être pas nécessaire. Les coûts d'investissement et d'exploitation de ce système doivent donc être ajoutés à celui du système d'échangeur de chaleur.

Les systèmes d'échangeurs de chaleur actuellement installés dans bien des bâtiments abritant des animaux ou des volailles requièrent un entretien régulier pour demeurer efficace. Il faut donc prévoir une période en conséquence dans le calendrier de travail.

On ne cesse d'apporter des améliorations aux échangeurs de chaleur destinés aux bâtiments abritant des animaux et des volailles. Le principe a effectivement fait ses preuves. L'augmentation du coût de l'énergie favorisera encore plus les recherches dans ce domaine.

Une idée innovatrice consiste à récupérer les gros volumes d'air d'extraction des milieux à excédant de chaleur, comme les porcheries ou les étables laitières, pour chauffer de petits volumes d'air que l'on peut diriger dans des locaux adjacents qui manquent de chaleur, comme les aires de mise bas et de sevrage des veaux. Étant donné que le débit de l'air chaud est plus important que celui de l'air froid, le problème du gel est considérablement réduit. Cette application permet





Fig. 50 Vue intérieure et extérieure d'un échangeur de chaleur commercial fixé au mur pour récupérer la chaleur contenue dans l'air à la sortie d'un ventilateur d'extraction.

de fournir toute la chaleur supplémentaire requise et même de maintenir un débit de ventilation supérieur, améliorant ainsi la qualité du milieu pour les jeunes animaux.

L'énergie solaire

L'énergie solaire est gratuite, mais il n'en va pas de même pour la capter et la stocker. L'investissement doit être amorti, avec les intérêts, dans un délai acceptable. (Un délai de moins de 5 ans est généralement considéré acceptable par la plupart des exploitants agricoles.)

En hiver, il fait généralement soleil lorsqu'il fait très froid. Les systèmes qui peuvent en tout temps utiliser la chaleur solaire, quelle que soit la température, sont donc prometteurs pour l'agriculture au Canada. Voici deux systèmes qui ont déjà fait leurs preuves sur le terrain :

Préchauffage de l'air de ventilation. En saison froide, toute augmentation, même de 2 ou 3 °C, de la température de l'air de ventilation entrant dans le bâtiment est bénéfique. Cette chaleur additionnelle permet de maintenir les débits de ventilation nécessaires pour combattre l'humidité avec une moins



Fig. 51 Capteur solaire vertical avec stockage de la chaleur construit dans une porcherie de maternité pour préchauffer l'air de ventilation d'hiver.

grande quantité de chaleur d'appoint. Il est également préférable d'augmenter un peu le débit de la ventilation afin d'amener plus d'air neuf dans le bâtiment pour l'assécher et en éliminer les gaz, la poussière et les agents pathogènes.

Des essais à l'échelle d'un capteur solaire vertical avec stockage de chaleur dans les murs faisant presque entièrement face au sud ont donné de bons résultats; ce système est rentable dans bien des endroits au Canada et ne nécessite que très peu d'entretien (Winfield, 1981). Au nord du 40e parallèle, soit tout le Canada, le capteur solaire vertical est idéal pour le chauffage d'hiver. Ce dispositif capte plus d'énergie solaire, lorsque le sol est couvert de neige, qu'un capteur solaire incliné en fonction de la latitude, plus 15 à 20 °C. Cela en fait un système idéal pour préchauffer l'air de ventilation. La figure 51 montre une installation dans une petite unité de mise bas.

L'addition d'un réservoir de stockage de chaleur de taille appropriée est essentielle. Dans un mur vertical, ce réservoir est facile à obtenir avec des blocs de béton de 240 mm d'épaisseur à 75 % solide. La figure 52 donne plus de détails sur la construction. La figure 53 donne le rendement du mur au cours d'une journée d'hiver ensoleillée. En comparant les températures maximales de « l'air dans le capteur » avec celles de « l'air dégagé par le mur dans l'étable » (30 °C/20 °C), il est évident qu'il faut stocker la chaleur. Sans ces murs en blocs de béton, le système recevrait de l'air à 30 °C déclenchant ainsi la pleine ventilation d'été en février, sans que l'on puisse tirer profit de cette chaleur la nuit lorsque cette dernière est le plus nécessaire. Le fait de construire un mur en blocs de béton pour obtenir une certaine inertie thermique permet de maintenir la température maximale de l'air fourni au système à un niveau acceptable de 20 °C et de conserver une quantité considérable de chaleur solaire pour l'utiliser la nuit, ce que l'on peut voir à la figure 53 à la température de la « colonne interne de béton (stockage) ».

Le mur capteur/emmaganiseur solaire doit évidemment être contourné par le système au cours des chaudes journées printanières et durant l'été. Cela est facile à faire en ouvrant une ou plusieurs portes de l'entrée et en les remplaçant par des portes grillagées (fig. 54).

Pour de plus amples détails, on peut obtenir auprès de tout ingénieur agricole ou conseiller provincial le plan M-9732 *Solar Ventilation Wall with Heat Storage* du Service des plans canadiens (SPC).

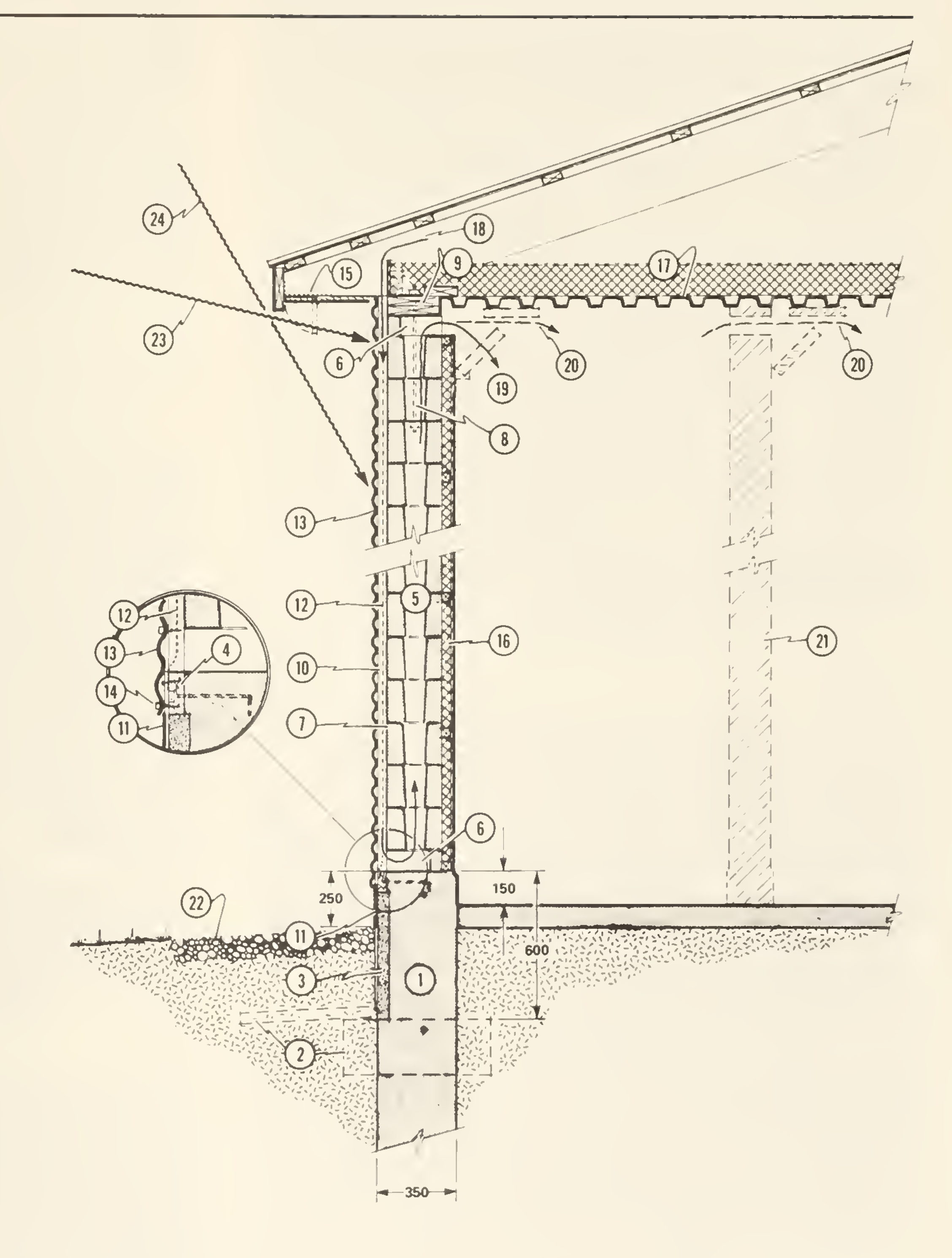
Dans bien des endroits au Canada, le mur capte en moyenne de 2 kWh/m^2 d'énergie par jour pendant les 180 jours que dure la période de chauffage. Toute cette énergie thermique peut être utilisée efficacement dans les bâtiments nécessitant beaucoup de chaleur, comme les aires de mise bas et de sevrage des veaux et même les porcheries, dans les régions les plus froides. Un mètre de mur d'une hauteur de 2,44 m permet de réaliser une économie d'énergie annuelle de l'ordre de 2,44 × 2 × 180 = 878 kWh ou 43,92 $, si l'électricité coûte 0,05 $/kWh. Ces économies devraient permettre de rembourser le coût de la construction d'un mur solaire dans un nouveau bâtiment en beaucoup moins que 5 ans. L'aménagement d'un tel mur dans un bâtiment existant ne constitue pas, par contre, un investissement aussi attrayant.

Dans les bâtiments à ventilation continue ayant un déficit thermique, il ne faut pas essayer de réduire les dépenses en ne construisant pas de réservoir pour stocker la chaleur. Il ne faut pas non plus tomber dans l'excès contraire et construire un réservoir trop grand: le système coûterait alors plus cher et consommerait davantage d'énergie (pour charger et décharger le réservoir trop grand); il ne donnerait d'ailleurs probablement pas un meilleur rendement ou ne serait pas aussi rentable que le système susmentionné.

Certains systèmes à air propre comme celui décrit dans la prochaine section permettent de recycler l'air dans le capteur solaire. Il ne faut cependant pas recycler l'air vicié, chargé de poussières, provenant des bâtiments abritant les animaux ou la volaille, car la poussière recouvrirait rapidement la surface noire du capteur d'une croûte blanche qui agirait comme isolant.

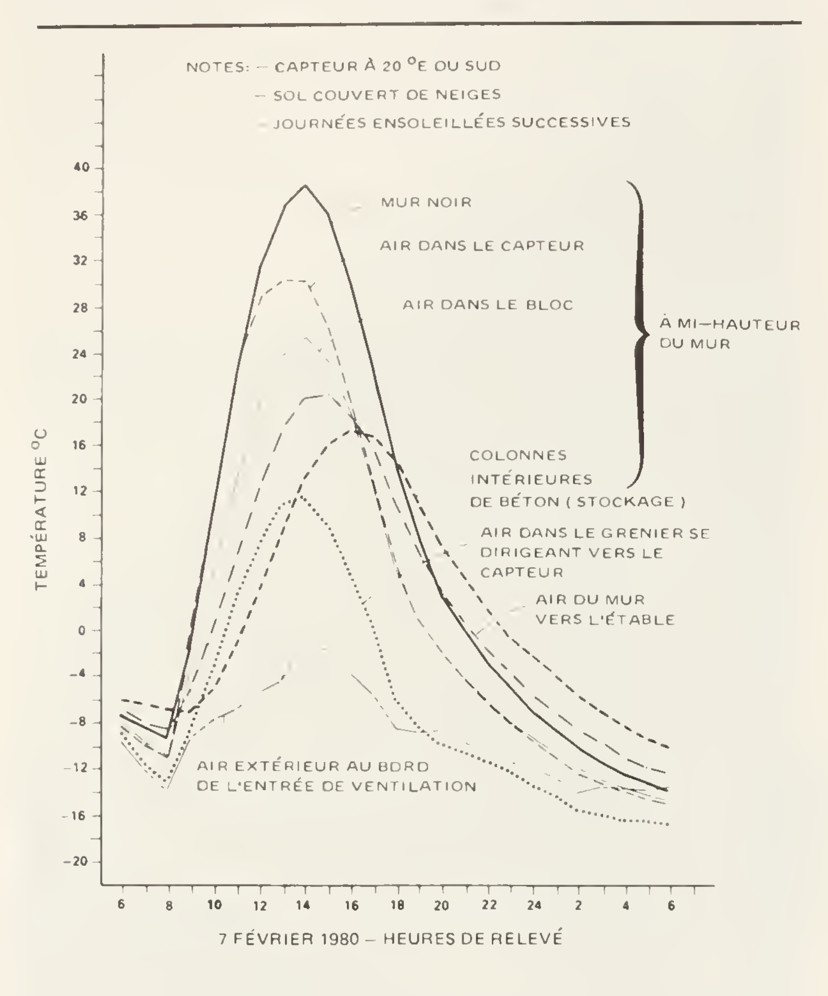
Chauffage de l'atelier agricole. Autre utilisation pratique de l'énergie solaire sur une exploitation agricole, dans les endroits où il ne faut pas maintenir

Fig. 52 Détails de construction d'un capteur solaire vertical avec stockage de chaleur pour préchauffer l'air de ventilation d'hiver.



1. Fondation en béton peu profonde ou profonde
2. Empattement (au choix) peu profond, de 400 x 200 mm, avec un isolant de périmètre horizontal de 50 x 600 mm (Dow Styrofoam SM ou l'équivalent)
3. Isolant de périmètre vertical 50 x 550 mm (Dow Styrofoam SM ou l'équivalent), fixé au coffrage avec des clous de finition avant de couler le béton, ou collé, si le (1) est en blocs de béton
4. Lisse de bois de 38 x 89 mm, traitée sous pression CCA, ancrée dans (1) avec des boulons M10 x 150 mm ancrés dans le béton à 1 200 mm entraxes ou moins
5. Blocs de béton de 240 mm (code de grosseur 25) à trois trous, 75 % solide, posés selon un appareil en pannerresses (et non un appareil en damier)
6. Briques de béton sur rives, 6 briques par bloc
7. Surface du collecteur, blocs et fourrure en bois (10) peints noir mat
8. Boulons d'ancrage avec tige filetée M12 x 600 mm à 1 200 mm entraxes, rondelles carrées de 100 mm et écrous, en haut et en bas, noyés dans le mortier
9. Deux plaques continues de 38 mm à joints en chicane à 2 400 mm entraxes, calfatées de façon étanche aux briques, à l'assise du couronnement et au plafond
10. Fourrure en cèdre de 38 x 38 mm à 600 mm entraxes
11. Feuille d'amiante-ciment compressée à haute densité de 5 x 600 mm; percer et visser la partie supérieure à (4)
12. Moustiquaire (au choix) en aluminium noir, plié vers le milieu entre les blocs (5) et le revêtement (13)
13. Feuille de plastique transparent ondulé renforcé de fibre de verre (Filon, Excellite ou l'équivalent, par Graham Products Ltd.), enduite d'une laque anti-UV; calfater et emboîter tous les joints de façon étanche
14. Vis à tête à six pans 3 x 25 mm (no. 8 x 1 po (2,5 mm)) avec rondelle en néoprène; percer et visser dans les noues, espacement de 600 mm à l'horizontale et de 200 mm à la verticale
15. Fente de ventilation du soffite avec grillage contre les oiseaux; porte à rabat de 19 x 140 mm, fermée en hiver, ouverte en été
16. Fourrure de 38 mm à 600 mm entraxes; isolant en fibre de verre; pare-vapeur et panneau de contreplaqué; si l'air (20) pénètre directement dans la pièce, augmenter la fourrure et l'isolant à 89 mm
17. Plafond en acier ou en contreplaqué (voir M-9371, M-9373 ou M-9374)
18. En hiver, l'air pénètre dans le capteur à partir du grenier ventilé
19. L'air chauffé par l'énergie solaire pénètre dans le passage préchauffé ou (20)
20. L'air pénètre dans la pièce par une fente d'entrée d'air ajustable
21. Une paroi isolée (au choix) sépare le passage préchauffé de la pièce
22. Du gros gravier ou de la pierraille empêche la boue d'éclabousser les murs
23. Angle du soleil le 21 décembre à Winnipeg (50° nord)
24. Angle du soleil le 21 juin à Winnipeg (50° nord)

Fig. 53 Températures enregistrées selon l'heure pour un mur capteur solaire vertical avec stockage de chaleur.



une température précise: le chauffage de l'atelier. Bien des agriculteurs canadiens veulent avoir un atelier confortable pour réparer l'équipement ou tout simplement garer leur tracteur et leur camionnette pour qu'ils démarrent bien en hiver.

Un simple capteur solaire à couvercle placé sur le mur sud, sans stockage de chaleur ni circulation d'air par ventilateur, fonctionne très bien dans ce cas. Une fiche d'information du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario (Spieser, 1981) décrit le système mural essayé dans le sud-ouest de la province. On peut également obtenir des détails sur la construction du système auprès des ingénieurs agricoles ou des agents d'information de la province (SPC Plan n° Q-9731). On trouvera à la figure 55 une section du mur solaire, et à la figure 56, une photo du système installé sur un atelier agricole.

L'air chaud, plus léger, s'élève à l'intérieur du capteur solaire et est remplacé par l'air froid, plus lourd, à la base. Dans la plupart des cas, la circulation de l'air est suffisante dans l'atelier. Cependant, un ventilateur de déstratification peut être suspendu au plafond, au besoin, pour pousser l'air chaud vers le bas, au niveau du plan de travail. On recommande fortement d'installer une soupape anti-refoulement en polyéthylène pour stopper les pertes de chaleur causées par l'inversion du flux d'air la nuit.

Avec ce système, il ne vaut pas la peine d'installer un réservoir de stockage de chaleur. Le plancher de béton, la structure du bâtiment et tout l'équipement de l'atelier remplissent en effet ce rôle.

La température variera tout de même dans l'atelier, mais sera assez élevée pour permettre d'y travailler confortablement pendant les journées d'hiver ensoleillées. Comme dans le cas du mur de préchauffage, un vitrage cannelé est essentiel pour absorber l'expansion thermique.

Les frais d'immobilisation de ce système sont peu élevés, tout comme les économies d'énergie potentielles pour la plupart des ateliers agricoles, à moins que ces ateliers soient utilisés régulièrement au cours de l'hiver. Encore une fois, si l'atelier est déjà isolé, l'investissement sera amorti en moins de 5 ans.

La biomasse

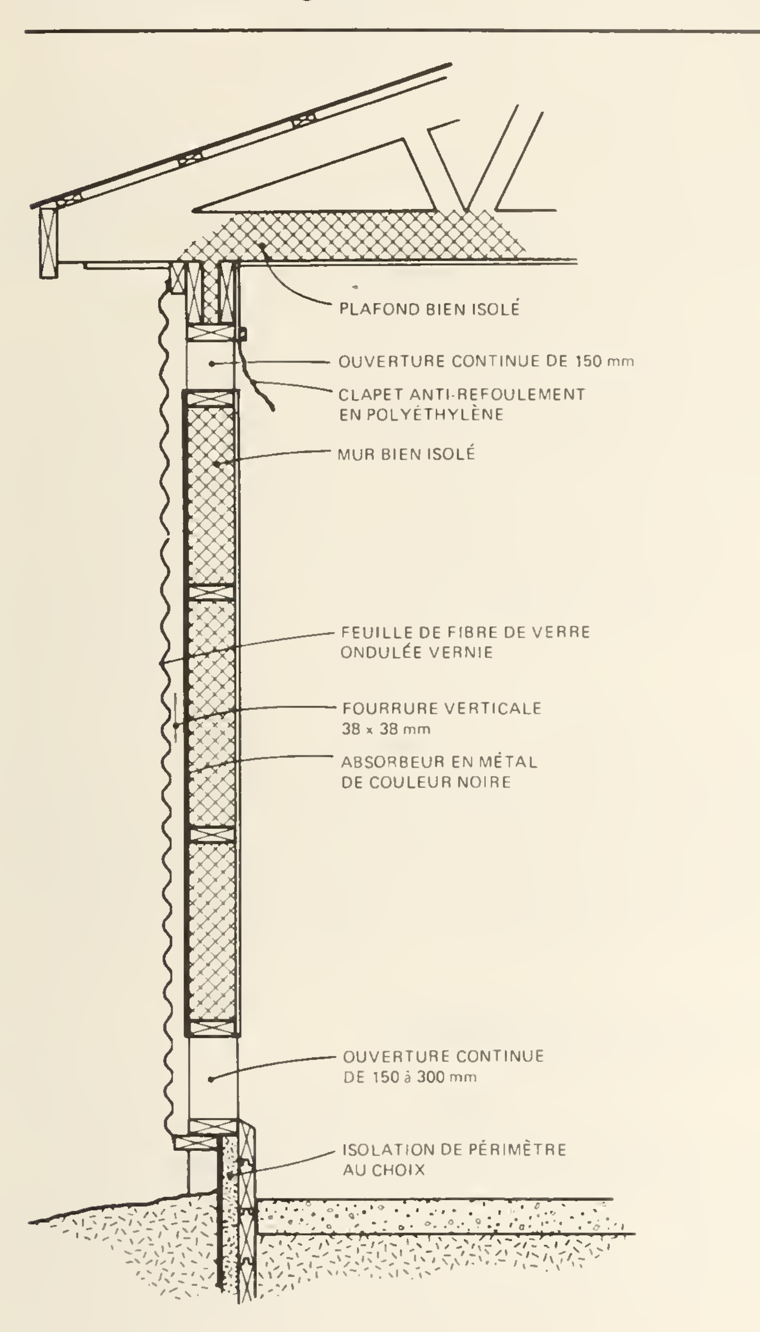
Beaucoup de déchets végétaux peuvent être utilisés directement ou indirectement comme combustibles de moindre qualité. Le principal facteur qui influence les décisions quant à l'utilisation de la biomasse est d'ordre économique: le système global aura-t-il un taux de rentabilité acceptable? Si l'agriculteur possède déjà l'équipement nécessaire à la récolte du foin sec, il ne lui en coûte pas beaucoup plus cher de s'en servir pour récupérer l'excédent de paille ou tout autre déchet végétal en vue de le brûler. De la même façon, le fait d'avoir accès à un approvisionnement assuré en sciure ou en copeaux de bois peut influer sur la viabilité économique d'un système faisant appel à l'énergie de la biomasse.

Combustion pour le chauffage. Dans les bâtiments nécessitant beaucoup de chaleur d'appoint, la combustion directe de matières végétales pour produire de l'eau chaude peut être rentable. Ce système

Fig. 54 Il est facile de contourner ce mur capteur solaire vertical de préchauffage de l'air en été en ouvrant ou en enlevant la porte de l'entrée pour laisser l'air pénétrer librement dans la chambre de répartition d'air.



Fig. 55 Coupe d'un mur solaire vertical passif conçu pour chauffer un atelier agricole.



est vraisemblablement plus rentable dans les grandes exploitations commerciales nécessitant l'aménagement d'une centrale de chauffage et l'emploi de la main-d'oeuvre pertinente pour fournir la chaleur à un certain nombre de bâtiments ou pour une combinaison d'utilisations, comme le chauffage des bâtiments et le séchage des récoltes.

Il existe de l'équipement commercial permettant l'alimentation automatique des chaudières et le contrôle de la température ambiante. Toutes ces applications doivent être évaluées séparément pour en établir la faisabilité et la rentabilité.

Conversion en combustible. La biomasse peut être convertie en combustible par un certain nombre de procédés de façon à fournir de l'énergie sous des formes plus pratiques. Malheureusement, rares sont les exploitations agricoles familiales pratiquant l'élevage qui disposent de suffisamment de personnel compétent dans ce domaine. La distillation, la fermentation, la gazéification, etc. exigent toutes un équipement complexe et des compétences spéciales. Jusqu'à présent, les systèmes agricoles qui fonctionnent bien sont peu nombreux et il est peu probable qu'ils se répandent rapidement dans un proche avenir.

Le biogaz, ou gaz de fumier, est produit dans certaines exploitations agricoles de l'Amérique du Nord. Dans bien des cas, ce gaz n'est pas produit pour son énergie thermique, mais plutôt pour réduire les problèmes d'odeur causés par les grandes concentrations d'animaux près des centres urbains, ou encore pour récupérer les protéines unicellulaires en vue de la réalimentation.

S'il est possible de produire du biogaz et principalement du méthane, leur stockage pose certains problèmes, compte tenu des techniques actuelles, étant donné qu'ils ne peuvent être liquéfiés comme le propane. Le stockage sous forme gazeuse exige des contenants très volumineux, étanches et de volumes variables. C'est pourquoi ces gaz ne peuvent être utilisés sur les tracteurs, les moissonneuses-batteuses et autres machines agricoles.

Les progrès scientifiques permettront peut-être un jour d'extraire de la biomasse des combustibles économiques pour les éleveurs.

L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est abondante, mais son intensité est incertaine et peu de régions au Canada en ont suffisamment pour justifier son utilisation. Il est peu probable, du moins dans un proche avenir, qu'elle soit un facteur économique important en ce qui a trait au remplacement de grandes quantités d'énergie à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments agricoles. Cette énergie a toujours été utilisée et continuera de l'être à certaines fins bien précises :

Ventilation. La ventilation de certains bâtiments abritant des animaux ou de la volaille a depuis longtemps été assurée, en tout ou en partie, par l'énergie éolienne, et la tendance devrait se poursuivre. Tous les bâtiments aérés de façon naturelle pour

Fig. 56 Capteur solaire passif installé sur le mur sud d'un atelier agricole.





Fig. 57 L'aération naturelle de bâtiments destinés à l'élevage du bétail constitue une utilisation efficace de l'énergie éolienne par temps chaud.

l'élevage du boeuf, des vaches laitières, des moutons, des dindes et même des porcs, dans certaines zones climatiques, dépendent du vent. En hiver, la ventilation naturelle peut être difficile à contrôler à moins que les portes puissent être scellées afin d'éviter la surventilation. Mais en été, les larges panneaux latéraux et les portes peuvent être ouverts afin de profiter de la moindre petite brise (fig. 57).

Pompage de l'eau. Les éoliennes étaient autrefois très répandues au Canada. Elles ont longtemps été utilisées pour pomper l'eau, jusqu'à ce qu'elles soient remplacées par des pompes électriques, l'électricité étant alors bon marché. Elles sont d'ailleurs encore utilisées dans les régions éloignées. Il importait alors de pouvoir compter sur un important réservoir d'eau. Les jours de vent, une quantité suffisante d'eau pouvait être pompée pour répondre aux besoins des animaux pour plusieurs jours.

Il est peu probable que ces éoliennes reviennent dans les grands élevages de bétail ou de volaille où les besoins en eau sont trop importants et la sûreté de l'approvisionnement est essentielle. L'énergie électrique permet de pomper et de pressuriser l'eau de façon très efficace.

Production d'électricité. L'utilisation de l'énergie éolienne pour produire l'électricité a fait couler beaucoup d'encre et de salive au cours des dernières années. Là encore le problème n'est pas tellement la production que le stockage. Le courant alternatif doit être utilisé immédiatement ou converti en courant continu pour être stocké dans des accumulateurs. Dans la plupart des applications agricoles (comme les moteurs électriques ordinaires), cette électricité doit être reconvertie en courant alternatif.

La plupart des exploitations agricoles, et particulièrement les fermes laitières, n'ont pas une demande constante en électricité; une grande partie de l'énergie électrique produite par le vent devrait donc être stockée en vue des deux périodes de pointe, soit la traite du matin et de la fin de l'après-midi.

Une autre option consiste à vendre l'énergie électrique excédentaire à la compagnie d'électricité locale. Celle-ci achètera cependant cette énergie aux prix de production, soit bien au-dessous du prix de distribution de 0,05 $/kWh. Les compagnies d'électricité, notamment certaines compagnies américaines, construisent actuellement des « fermes éoliennes » afin de compléter leur propre capacité de production d'électricité. Cette façon d'agir est très prudente de leur part et beaucoup plus pratique que la production de l'électricité sur les exploitations individuelles.

L'énergie géothermique

Dans certaines régions du monde, y compris certains endroits isolés au Canada, l'eau chaude est fournie naturellement à la surface de la terre ou à proximité. Presque partout dans le monde, la température du sol ou des eaux souterraines est constante, mais relativement basse (de 3 à 15 °C). L'extraction de grandes quantités de chaleur du sol ou de l'eau à ces températures est encore relativement chère. Il existe trois méthodes permettant de tirer profit de cette chaleur.

Réduction de l'exposition des bâtiments à l'air froid ambiant. Certaines maisons ont été construites dans des pentes orientées vers le sud afin de réduire leur exposition au vent dominant et aux basses températures de l'extérieur. Cette méthode donne de bons résultats, mais la vue est limitée et il est très difficile de s'établir où on veut. Compte tenu de conditions de drainage idéales, les bâtiments agricoles peuvent être construits partiellement sous terre ou encore on peut entasser de la terre le long de leurs murs. Cela demande cependant de repenser complètement la conception des bâtiments pour que les murs puissent supporter la pression du sol, que le bois ne pourrisse pas, etc. Les coûts de construction augmenteraient donc de façon considérable. Il est plus économique de bien isoler les bâtiments étant donné que les pertes de chaleur dues au bâtiment sont faibles à comparer aux pertes de chaleur par ventilation.

Source de chaleur pour les thermopompes. Les thermopompes augmentent de façon très efficace le degré de chaleur à partir d'une source donnée. Comme la température du sol ou de l'eau souterraine est de 3 à 15 °C, il faudrait que les dimensions du système d'extraction de la chaleur dans la terre ou que le débit de pompage d'un puits soient énormes pour arriver à extraire d'importantes quantités de chaleur sans entraîner le gel.

Par exemple, lorsque l'eau est à 5 °C, il faut un débit de 3 448 L/h pour fournir l'équivalent thermique de 20 kW (72 000 kJ/h). Ce débit constitue le débit total d'un très bon puits agricole. De plus, pour conserver l'eau, il faut un second puits (d'un grand diamètre de préférence) qui la retourne à sa source souterraine. L'investissement nécessaire à la construction des puits et de la thermopompe est élevé comparativement aux autres choix comme le mur solaire ou l'échangeur de chaleur.

Conditionnement de l'air de ventilation entrant. Des échangeurs de chaleur à tubes enfouis ont été essayés sur le terrain à divers endroits aux États-Unis. Certaines installations-pilotes ont été testées au Canada, mais aucun résultat n'a encore été publié. Le principe consiste à enfouir un certain nombre de tubes de drainage en plastique ondulé (sans perforation), en faisceaux ou en parallèle, avec un collecteur principal. L'extrémité extérieure de chaque partie latérale est dirigée vers le haut et sort du sol pour faire fonction de prise d'air. Les autres extrémités convergent vers un puits de collecte vertical isolé près du bâtiment.

Pour obtenir une surface de transfert de chaleur suffisante, les canalisations latérales doivent être longues (de 38 à 76 m) et avoir un diamètre suffisant (de 150 à 300 mm) de façon à réduire les pertes de pression par friction d'air. On peut ainsi se servir d'un ventilateur à faible refoulement pour aspirer l'air des tubes de plastique ondulé rugueux. Ces tubes doivent être suffisamment enfouis (au moins 3 m dans la plupart des endroits) pour diminuer les fluctuations de température de surface. L'idéal serait d'introduire ces tubes en dessous de la nappe phréatique. En raison de la profondeur d'enfouissement, des précautions spéciales doivent être prises afin d'éviter les effondrements. Les raccords doivent être étanches et les tubes doivent être disposés de façon à avoir une pente uniforme pour permettre le drainage ou le pompage du condensat et des eaux souterraines infiltrées.

L'air qui passe dans ces tubes peut être refroidi en été et réchauffé en hiver, ce qui est hautement souhaitable. Le problème majeur de cette application est le coût d'achat des tubes de grand diamètre et du creusage des tranchées. Goetsch et Muehling (1981) ont évalué le coût d'un système presque optimal (moindre coût) de 1 000 L/s à entre 4 000 et 5 000 $. Un système de 1 000 L/s pourrait assurer toute la ventilation d'hiver nécessaire à un gros bâtiment agricole; par contre, en été, il ne fournirait que de quoi « rafraîchir le grouin » des porcs. Un tel système de tubes enfouis, utilisé seulement pour réchauffer l'air en hiver, aura probablement une période de remboursement trop longue. Si les avantages que l'on en retire pour le refroidissement en été atteignent une valeur économique égale, le système peut être considéré comme une option rentable, compte tenu d'une période d'amortissement de 2 à 3 ans.

RÉSUMÉ

Nous nous sommes efforcés dans les pages précédentes de mettre en perspective la gestion énergétique des bâtiments agricoles destinés à loger des animaux et des volailles. L'auteur croit fermement qu'à quelques exceptions près, il est possible de réduire de 10, 30 et même 50 % la consommation d'énergie classique de certaines activités en n'apportant seulement que quelques changements mineurs peu coûteux à l'exploitation.

Les tableaux de dépannage que l'on trouvera plus loin constituent un bon point de départ pour une vérification du bilan énergétique de vos installations de production.

Il faut porter attention à certains détails comme les suivants: la surventilation lorsque le chauffage fonctionne; l'étalonnage des contrôles thermostatiques; la conception du système de prise d'air et le réglage du système d'entrées d'air; et la grosseur des appareils de chauffage. Cela permet d'économiser directement de l'énergie et de l'argent. Lorsque le milieu est sain, les animaux et les volailles sont en meilleure santé et plus productifs. Cela permet d'économiser également au niveau de l'alimentation, des frais de vétérinaire et des coûts d'exploitation.

Certaines techniques nouvelles devraient être adoptées dès maintenant. La récupération de chaleur du lait pour préchauffer l'eau nécessaire au nettoyage dans les étables laitières constitue un bon investissement pour de nombreuses grandes exploitations, à condition de bien choisir le système de récupération. Il est insensé de gaspiller l'eau chaude. Dans les petites exploitations, il est préférable d'investir dans un chauffe-eau « surisolé » à débit de récupération élevé.

Au moment de construire des bâtiments bien isolés, à ventilation continue, mais à déficit thermique, on devrait prendre en considération l'installation, sur le mur sud, d'un capteur solaire vertical avec stockage de chaleur dans bien des endroits au Canada. On devrait également envisager la possibilité de construire un mur solaire pour les ateliers agricoles.

Les chercheurs et les innovateurs continueront à inventer de nouveaux systèmes et à améliorer les systèmes existants. Ces systèmes doivent être évalués en fonction de leur utilisation domestique et de leurs exigences en matière de gestion. Une gestion saine, la compréhension des objectifs et l'attention portée aux détails devraient permettre de réaliser d'importantes économies. La gestion efficace de l'énergie dans les bâtiments agricoles ne peut malheureusement s'acheter chez aucun fournisseur peu importe sa spécialité.

TABLEAU 1 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver.

Problème	Causes possibles	Solutions
A. Mauvaise qualité de l'air dans l'ensemble du bâtiment	1. Défaut de ventilation continue (extraction) ou débit trop faible	1.(a) Vérifier si les persiennes du ventilateur bougent librement de façon à permettre au ventilateur de fournir son débit nominal d'extraction.
		(b) Installer un ou plusieurs ventilateurs d'évacuation de capacité nominale ou moindre.
		(c) Abaisser la température de l'air à l'intérieur du bâtiment, lorsque c'est possible, pour augmenter le débit de la ventilation.
		(d) Assurer l'admission d'air dans les bâtiments très étanches.
	2. Les contrôles thermostatiques des ventilateurs en continu ne sont pas placés au bon endroit, sont mal étalonnés ou mal branchés.	2.(a) Vérifier si les contrôles se trouvent dans des courants d'air ou dans des zones mortes.
		(b) Vérifier l'étalonnage à l'aide d'un thermomètre.
		(c) S'assurer que les ventilateurs à deux vitesses fonctionnent à basse vitesse (et non à vitesse élevée) lorsque la température baisse.
	3. Chaleur insuffisante pour assurer la ventilation en continu tout en maintenant la température à l'intérieur du bâtiment.	3. Augmenter le chauffage supplémentaire pour maintenir la température dans les endroits importants commes les aires de mise bas.
	4. Les ventilateurs d'extraction ne sont pas protégés de la pression du vent à l'extérieur.	4. Installer des capuchons pour que les ventilateurs puissent évacuer l'air efficacement.
	5. Retour de l'air évacué.	5. Éloigner la sortie d'air de la prise d'air.
B. Mauvaise qualité de l'air à certains endroits à l'intérieur du bâtiment.	1. L'air entrant n'est pas bien réparti à l'intérieur du bâtiment.	1.(a) Régler les entrées d'air du bâtiment ou en ajouter. Installation éventuelle d'un système de recirculation.
		(b) Sceller certaines des fissures (là où l'air est de bonne qualité) dans les vieux bâtiments lézardés.
	2. Les prises d'air à l'extérieur du bâtiment ne sont pas protégées contre l'effet du vent.	2. Modifier le système de prises d'air comme le recommande le texte.
C. Condensation sur les murs ou au plafond du bâtiment.	1. Isolation insuffisante.	1.(a) Améliorer ou remplacer l'isolation.
		(b) Abaisser la température à l'intérieur du bâtiment en augmentant le débit d'extraction d'air, lorsque c'est possible.
	2. Chaleur insuffisante pour lutter contre l'humidité à la température ambiante désirée.	2. Fournir plus de chaleur, surtout pour les jeunes animaux et les jeunes volailles.
	3. La température de l'air est trop élevée à l'intérieur du bâtiment pour la chaleur disponible et le niveau d'isolation.	3. Abaisser le point de consigne des contrôles thermostatiques des ventilateurs d'extraction d'hiver.
	4. L'air presque saturé est attiré dans les zones froides du bâtiment.	4.(a) Installer le ventilateur d'hiver dans l'endroit réservé aux animaux adultes.

TABLEAU 1 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver (suite).

Problème	Causes possibles	Solutions
		(b) Reloger les animaux. Placer les animaux adultes dans la zone froide.
	5. Fuites des abreuvoirs.	5.(a) Réparer les abreuvoirs.
	6. Animaux perturbés.	6.(a) Appeler le vétérinaire.
		(b) Vérifier si la teneur en sel n'est pas trop élevée dans l'eau ou dans la nourriture.
D. Grandes variations de température à l'intérieur du bâtiment (ex. 5 °C toutes les 40 minutes).	1. Ventilation excessive : (a) une trop grande différence entre les diverses vitesses du ventilateur d'extraction	1.(a) Installer des ventilateurs moins puissants.
	(b) plus d'un ventilateur par contrôle thermostatique	(b) Installer un contrôle thermostatique additionnel ou débrancher un ventilateur par temps très froid.
	(c) contrôle thermostatique défectueux	(c) Nettoyer ou remplacer le contrôle thermostatique.
	(d) le contrôle thermostatique n'est pas placé à un endroit où il peut déceler les conditions ambiantes moyennes.	(d) Déplacer le contrôle thermostatique ou empêcher les courants d'air ou la chaleur d'atteindre le capteur.
	2. Système de chauffage trop puissant : le système de chauffage supplémentaire est trop puissant.	2. Réduire la fréquence de déclenchement ou remplacer le système par un système moins puissant.
E. Bâtiment trop froid – bonne qualité de l'air.	1. Ventilation excessive : (a) contrôle thermostatique défectueux	1.(a) Régler à nouveau, nettoyer ou remplacer les contrôles thermostatiques.
	(b) débit d'extraction d'air trop élevé.	(b) Installer un ou plusieurs ventilateurs d'extraction moins puissants.
		(b) Débrancher un des ventilateurs branché à un même contrôle thermostatique.
		(b) Étalonner le contrôle thermostatique avec un thermomètre.
		(b) Échelonner les points de consigne du thermostat de façon à prévenir par temps froid la surventilation provoquée par les gros ventilateurs.
	(c) contrôle insuffisant du débit de ventilation naturelle (vent).	(c) Fermer les orifices du système de nettoyage des gouttières lorsqu'ils ne sont pas utilisés.
		(c) Fermer les portes de la salle de préparation des aliments dans laquelle aboutissent les déversoirs du silo.
		(c) Sceller les défauts d'étanchéité autour des fenêtres, des portes, etc.
		(c) Fermer l'entrée d'air.
		(c) Couvrir les gros ventilateurs d'été.
		(c) Vérifier si le système de prise d'air est bien protégé du vent (voir le texte).

TABLEAU 1 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver (suite).

Problème	Causes possibles	Solutions
	2. Isolation ou chauffage insuffisant : (a) la surventilation est utilisée pour lutter contre la condensation	2.(a) Isoler le bâtiment de façon à permettre une humidité relative plus élevée sans condensation.
	(b) chaleur insuffisante.	(b) Accroître la densité d'occupation du bâtiment.
		(b) Envisager l'installation d'un toit poreux dans les étables laitières, d'un mur de préchauffage solaire dans les nouvelles constructions, d'échangeurs de chaleur ou d'un système de chauffage classique.
F. Courants d'air.	1. Ouverture excessive de l'entrée d'air poussant l'air froid vers le bas.	1. Réduire l'ouverture de l'entrée d'air de façon que l'air soit poussé et brassé au-dessus des animaux et des volailles.
	2. Obstacles au plafond poussant l'air froid vers le bas (effet plus important là où le débit d'air est faible, dans les unités de vêlage, par exemple).	2.(a) Éliminer les obstacles ou réduire l'effet en facilitant le déplacement de l'air.
		(b) Suspendre les conduits au plafond.
		(c) Installer un plafond en feuilles de tôle ondulée dans le sens du déplacement de l'air.
		(d) Préchauffer si possible l'air entrant.
	3. La prise d'air à l'extérieur du bâtiment n'a pas de capuchon ou n'est pas protégée contre le vent.	3.(a) Placer la prise d'air loin du mur (près de la bordure du toit) et au-dessus de la plaque.
		(b) Installer des déflecteurs sur le mur extérieur pour protéger les prises d'air murales des courants d'air ascendants.
		(c) Réduire (fermer) l'ouverture de la prise d'air externe pendant l'hiver à l'aide d'un panneau pivotant ou coulissant.
		(d) Ne tirer de l'air du grenier en hiver que lorsqu'une ventilation continue est assurée.
	4. Vieux bâtiment lézardé; portes, fenêtres mal ajustées.	4. Sceller les défauts d'étanchéité. Couvrir les ventilateurs d'été.
	5. Systèmes mécaniques de recirculation ou de répartition de l'air trop puissants, mal placés ou mal réglés.	5. Lire le manuel de l'utilisateur ou communiquer avec un représentant du fabricant pour lui demander conseil.
G. Factures de chauffage élevées	1. Surventilation : (a) ventilateur en continu ou pour le contrôle de l'humidité trop puissant	1.(a) Installer un ventilateur moins puissant pour la ventilation d'hiver.
	(b) point de consigne trop élevé du thermostat de chauffage	(b) Abaisser le point de consigne du thermostat de chauffage.
		(b) Augmenter le point de consigne du thermostat de ventilation.
	(c) thermostats de chauffage et de ventilation inexacts ou exposés à des températures différentes.	(c) Vérifier l'étalonnage des contrôles thermostatiques avec un thermomètre.

TABLEAU 1 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver (suite).

Problème	Causes possibles	Solutions
		(c) Placer les contrôles thermostatiques au même endroit. (c) Coupler les contrôles de chauffage et de ventilation.
	(d) différence insuffisante entre les points de consigne des contrôles thermostatiques des ventilateurs d'extraction.	(d) S'assurer que les contrôles thermostatiques de la ventilation d'automne et de printemps sont réglés au-dessus du point de consigne minimal d'hiver.
	2. Système de chauffage supplémentaire trop puissant nécessitant une surventilation pour atténuer les variations de température.	2. Réduire la fréquence de déclenchement du chauffage, remplacer les appareils de chauffage par des appareils plus petits ou à deux vitesses, ou installer plusieurs petits appareils pour permettre de faire varier le chauffage.
	3. Surchauffage des bâtiments à faible débit d'air pour améliorer la température au niveau des animaux ou des volailles (les couveuses et les unités de mise bas dans les porcheries).	3.(a) Ajouter de l'isolant et du calfeutrage. (b) Ajouter un faux plafond plus bas si le toit est de type cathédrale. (c) Installer un système de recirculation afin de diminuer la stratification de la température et maximiser la récupération de l'air.
	4. Chauffage au moyen d'un système sous plancher (petite superficie).	4. Installer une chauffrette.
	5. Températures élevées à l'intérieur du bâtiment augmentant les pertes de chaleur attribuables au bâtiment.	5.(a) Ajouter de l'isolant et du calfeutrage. (b) Utiliser des radiateurs dans les endroits réservés aux jeunes animaux afin de pouvoir réduire la température dans le reste du bâtiment. (c) Régler la température à l'intérieur du bâtiment en fonction de la productivité des animaux et des volailles.
	6. Mauvais rendement énergétique des ventilateurs	6. Avant d'acheter de nouveaux ventilateurs, comparer leurs caractéristiques nominales (L/S par watt).
	7. Bâtiments à déficit thermique nécessitant un certain chauffage afin d'obtenir une ventilation adéquate pour lutter contre l'humidité à des températures élevées. Par exemple, les unités de mise bas et de sevrage dans les porcheries et les unités de logement des veaux d'embouche.	7.(a) Ajouter de l'isolant et du calfeutrage. (b) Lors de la construction de nouvelles installations, songer à inclure un mur de captage solaire avec stockage de chaleur (Plan M-9732 du SPC). (c) Les appareils de récupération de la chaleur contenue dans l'air évacué deviennent de plus en plus à la mode étant donné que l'augmentation du prix de l'électricité justifie certains travaux d'entretien.

TABLEAU 1 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver (fin).

Problème	Causes possibles	Solutions
		(d) Le chauffage à l'aide de l'énergie produite par la biomasse peut également être envisagé dans certains cas. Chaque cas doit être évalué séparément.

NOTE : On peut dans certains cas, envisager d'utiliser des échangeurs de chaleur pour récupérer la chaleur contenue dans l'air évacué au lieu de fournir un chauffage d'appoint.

TABLEAU 2 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver.

Problème	Causes possibles	Solutions
A. Air trop chaud à l'intérieur du bâtiment (dans tout le bâtiment comparativement à la température extérieure).	1. Déplacement insuffisant de l'air:	
	(a) les ventilateurs ne fonctionnent pas	1.(a) Les contrôles sont défectueux ou le ventilateur est mal placé.
	(b) les ailettes du ventilateur ne sont pas fixées de façon adéquate	(b) Régler le ventilateur sur l'arbre pour obtenir une saillie de un tiers de la longueur totale de l'arbre.
	(c) ventilateur trop faible	(c) Installer des ventilateurs puissants ou ouvrir complètement les portes et les fenêtres du bâtiment.
	(d) les capuchons de ventilateur sont trop petits ou obstrués	(d) Mettre des capuchons plus gros.
	(e) l'ouverture du ventilateur est trop petite.	(e) Accroître l'ouverture dans le mur ou déplacer le ventilateur.
	2. Prise d'air insuffisante (à partir de l'extérieur) :	
	(a) la prise d'air n'est pas assez grande	2.(a) Augmenter la superficie de la prise d'air à l'extérieur du bâtiment.
	(b) air chaud du grenier attiré dans la prise d'air en raison de l'insuffisance de la prise d'air.	(b) Faire comme ci-dessus et s'assurer que les cintres de voûte ont été bloqués.
	3. Transfert excessif de la chaleur du grenier vers le bâtiment :	
	(a) isolation ou ventilation insuffisante du grenier	3.(a) Mieux isoler le grenier et s'assurer que l'entrée d'air, dans l'avant-toit, et la sortie d'air, dans le pignon ou le faîte du toit, ont une superficie adéquate.
	(b) revêtement de toit trop sombre (non réfléchissant).	(b) Envisager de peindre le toit en blanc, gris ou aluminium, pour qu'il réfléchisse le soleil.
	4. Trop grande densité d'occupation.	4. Réduire la densité d'occupation des bâtiments en été, si possible.
B. Air trop chaud à l'intérieur du bâtiment (dans certains endroits).	1. Les entrées d'air sont trop éloignées, court-circuitant les ventilateurs d'extraction d'air (ou les entrées sont trop concentrées en un seul endroit).	1. Réduire l'ouverture des entrées d'air afin de créer des jets d'air dans tous les endroits (fermer les portes du bâtiment).
	2. Absence d'air neuf dans certains endroits.	2. Ajouter des entrées d'air en continu ou installer un système de circulation d'air.

TABLEAU 2 Dépannage: contrôle du milieu ambiant/consommation d'énergie en hiver (fin).

Problème	Causes possibles	Solutions
	3. Air trop chaud en face des ventilateurs groupés.	3. Déplacer un ou plusieurs ventilateurs pour réduire la concentration d'air ambiant chaud et vicié.
C. Bâtiment trop sec, (problème courant avec les poulets à griller élevés sur litière)	1. Les volailles manquent d'eau.	1.(a) Humecter la litière avec le boyau d'arrosage. (b) Adapter le régime alimentaire.
D. Air trop chaud pour les porcs adultes (les porcs sont incommodés par la chaleur).	1. Les porcs ne peuvent pas libérer de façon naturelle leur chaleur corporelle par évaporation étant donné qu'ils n'ont pas de glandes sudoripares.	1.(a) Installer un système de rafraîchissement des bêtes par aspersion intermittente plutôt que de faire fonctionner les ventilateurs à une capacité supérieure à la normale. (Cela permet le rafraîchissement par évaporation sur la peau.) (b) Les systèmes de rafraîchissement de l'air par évaporation peuvent être utilisés lorsque l'humidité relative de l'air à l'extérieur est faible et que les températures sont élevées.
	2. Les porcs ne peuvent perdre leur chaleur corporelle par conduction via les planchers isolés.	2. Ne pas isoler les planchers de béton (dans le cas des animaux adultes).
E. Variations de température quotidiennes excessives à l'intérieur du bâtiment ou problèmes de courant d'air.	1. Les points de consigne des contrôles thermostatiques sont trop bas.	Élever le point de consigne des contrôles thermostatiques des ventilateurs de contrôle de température en fonction d'une température ambiante acceptable plus élevée au cours de la saison chaude.
	2. Contrôle de l'air insuffisant.	2. Régler les entrées d'air au besoin pour maintenir une bonne circulation d'air.
F. Facture d'électricité élevée.	1. Un grand nombre de ventilateurs fonctionnent en même temps.	1. Essayer la ventilation naturelle par les fenêtres, les portes, les murs, rideaux, lorsque les conditions le permettent.
	2. Trop de ventilateurs.	2. Les ventilateurs à grand diamètre et à faible vitesse ont un rendement énergétique (L/s par watt) supérieur lorsqu'il s'agit d'obtenir des débits élevés en été.
	3. Mauvais rendement énergétique des ventilateurs.	3. Au moment de remplacer les moteurs, acheter des moteurs à bon rendement énergétique.

GLOSSAIRE

Bordure de toit : Élément vertical en bordure du toit. Il s'agit généralement d'une planche de bois de 150 mm fixée aux extrémités des chevrons. Cette planche peut être recouverte d'aluminium ou d'acier.

Chaleur d'appoint : Chaleur additionnelle requise dans un bâtiment ventilé pour animaux ou volailles afin de maintenir l'air ambiant à une température minimale désirée. Cette chaleur vient s'ajouter à celle dégagée par les animaux ou les volailles. Elle peut être fournie de bien des façons, notamment grâce à la chaleur récupérée dans l'air des ventilateurs d'extraction.

Coefficient de rendement : Quantité d'énergie thermique déplacée par une thermopompe par rapport à la quantité d'énergie consommée.

Contrôle thermostatique : Appareil électrique de régulation actionné par une variation de la température de l'air ambiant. Des contrôles variables sont utilisés pour régler la vitesse des ventilateurs ou la production de l'appareil de chauffage. Les contrôles par interrupteur mettent en marche ou arrêtent les ventilateurs et les appareils de chauffage selon une séquence établie. Les contrôles des ventilateurs d'extraction doivent être installés de façon à augmenter la vitesse ou arrêter le ventilateur lorsque la température augmente. Les contrôles du chauffage doivent être installés de façon à augmenter la production de chaleur ou à éteindre l'appareil lorsque la température baisse. (De nombreux thermostats agricoles peuvent être utilisés pour régler les ventilateurs ou les appareils de chauffage, à condition d'être installés correctement.)

Entrée d'air : Fentes ou orifices pratiqués dans le bâtiment afin de faire pénétrer l'air à une vitesse donnée, dans la section réservée aux animaux ou aux volailles.

Fuites : Air entrant dans un bâtiment par des ouvertures autres que les entrée d'air prévues, généralement par les lézardes.

Humidité relative (HR) : Quantité relative, en pourcentage, de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à la même température de bulbe sec.

Humidistat : Dispositif électrique de régulation déclenché par une variation de l'humidité relative (HR) de l'air.

Hygrothermographe : Appareil qui décèle et enregistre simultanément la température et l'humidité relative (HR) de l'air.

Lézardes : fissures ou petites ouvertures (autour des fenêtres, des portes, etc.) par lesquelles l'air extérieur pénètre dans les bâtiments destinés aux animaux ou à la volaille. Ces lézardes constituent des entrées d'air dans les bâtiments non étanches, p. ex. les vieilles étables laitières à deux étages.

Prise d'air : L'ouverture pratiquée dans des éléments structuraux du bâtiment afin de permettre à l'air extérieur d'arriver à l'entrée d'air.

Puissance d'un moteur : Capacité de déplacement de l'air d'un ventilateur d'extraction comparativement à sa consommation d'électricité. Généralement exprimée en litres par seconde (L/s) par watt (W).

Rapport d'efficacité : Mesure du rendement d'un système de récupération de chaleur (échangeur). La quantité relative de chaleur effectivement récupérée est comparée à la quantité de chaleur pouvant être récupérée. Ce rapport se présente généralement sous forme de décimales ou de pourcentage, ex. 0,6 ou 60 %.

Récupération de chaleur : Procédé servant à récupérer la chaleur (qui serait autrement perdue) dans l'air évacué ou dans le lait en vue d'une réutilisation pour le préchauffage de l'air entrant ou le chauffage de l'eau. Les échangeurs de chaleur ou les unités de réfrigération sont des appareils de récupération connus. La chaleur récupérée peut être utilisée pour remplacer la chaleur achetée ou la chaleur d'appoint.

Soffite : Revêtement horizontal ou en petne entre la bordure de toit et le mur extérieur du bâtiment.

Surisolé (Chauffe-eau) : Ce terme est utilisé pour décrire les nouvelles générations de chauffe-eau électriques dont le revêtement extérieur est de couleur beige. Le réservoir de ces chauffe-eau a environ 50 % plus d'isolant thermique que les « cascades » blancs.

BIBLIOGRAPHIE

Anonymous. 1981. Passive solar shop heating. Plan Q-9731, Canada Plan Service.

Anonymous. 1982. Solar ventilation wall with heat storage. Plan M-9732, Canada Plan Service.

Anonymous. 1982. Livestock ventilation heat recovery systems. Saskatchewan Agriculture, Family Farm Improvement Branch, Regina, Sask. 28 pp.

Boris, R.E. 1981. Utilization of condenser heat from bulk milk cooler for water heating in a dairy operation. NAR/CSAE Paper 81-207 presented at Annual AIC Conference, St. Catherines, Ont. August.

Carr, L.E., K.E. Felton, and J.L. Nicholson. 1980. Planning for fuel conservation in your broiler house. MEP 302. Coop. Ext. Serv., Univ. Maryland, College Park, MD. 32 pp.

Clark, P.C., J.B. McQuitty, and J.J.R. Feddes. 1980. Heat and moisture loads in swine feeder barns. CSAE Paper 80-209 presented at Annual AIC Conference, Edmonton, Alta. August.

Goetsch, W., and A.J. Muehling. 1981. Earth-tube heat exchangers for swine buildings. Energy Tip 2. Dep. Agric. Eng., Univ. Illinois, Urban-Champaign, Ill. 7 pp.

Huffman, H., and N. Pegg. 1981. Performance testing of agricultural fans. CSAE/NAR-ASAE Paper 81-208 presented at Annual AIC Conference, St. Catherines, Ont. August.

Munroe, J.A., et al. 1981. Stabulation entravée des bovins laitiers, publ. 1714, Agriculture Canada, Ottawa, 48 pp.

Person, H.C. 1977. Effect of dirt, louvers and other attachments on fan performance. ASAE Paper 77-4568. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

Smith, R.A., J.B. McQuitty, and J.R. Feddes. 1980. Heat and moisture load in dairy barns. CSAE Paper 80-208 presented at Annual AIC Conference, Edmonton, Alta. August.

Sojak, M. 1977. Spray cooling of feeder pigs. Factsheet 77-054. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Parliament Buildings, Toronto, Ont. 3 pp.

Sojak, M., and J.R. Morris. 1975. Spray cooling to reduce heat stress of feeder pigs on various rations. CSAE Paper 77-211 presented at Annual AIC Conference, Parliament Buildings, Toronto, Ont. 3 pp.

Sojak, M., and J.R. Morris. 1982. Automation of CPS centre air inlet. CSAE Paper 82-205 presented at Annual AIC Conference, Vancouver, B.C. July.

Spieser, H. 1981. Passive solar shop heating. Factsheet 81-069. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Parliament Buildings, Toronto, Ont. 3 pp.

Turnbull, J.E. 1980. Housing and environment for dairy calves. Can. Vet. J. 21:85–90. March.

Turnbull, J.E., and N.A. Bird. 1979. Élevage des porcs en claustration, publ. 1451, Agriculture Canada, Ottawa, 73 pp.

Weeden, J.K., and J.G. Norrish. 1980. Stationary blender-grinders—a field evaluation. Summary paper for Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, Ont. 14 pp.

Winfield, R.G. 1981. Solar collectors and storage for animal housing and grain drying. Final report (1 and 2). Eng. Stat. Res. Inst. Rep. Contract File 07SZ.01843-8-1810. Agriculture Canada, Ottawa. 53 pp.

Winfield, R.G., and J.A. Munroe. 1980. Solar assisted animal housing ventilation for northern latitudes. CSAE Paper 80-217 presented at Annual AIC Conference, Edmonton, Alta. August.

Winfield, R.G., and J.E. Turnbull. 1980. Saving energy by interlocked heating/ventilation controls in livestock housing. CSAE Paper 80-222 presented at Annual AIC Conference, Edmonton, Alta. August.

Winfield, R.G., and W.A. Gee. 1983. Energy recovery from milk. A report for the Ontario Ministry of Agriculture and Food, Parliament Buildings, Toronto, Ont. March.